

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GLEICE MENEZES DE ALMEIDA

DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL E EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO NA
FASE PASTAGEM DE UM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA

CURITIBA

2019

GLEICE MENEZES DE ALMEIDA

DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL E EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO NA
FASE PASTAGEM DE UM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO
AGROPECUÁRIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para à obtenção do título de Doutora em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César de Faccio
Carvalho

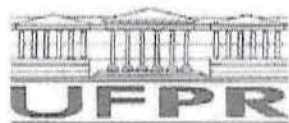
Coorientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes

CURITIBA

2019

A447d Almeida, Gleice Menezes de
Diagnóstico nutricional e eficiência de uso do nitrogênio na fase
pastagem de um sistema integrado de produção agropecuária /
Gleice Menezes de Almeida. - Curitiba, 2019.
89 p.: il.,
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia -
(Produção Vegetal).
Orientador: Paulo César De Faccio
Coorientador: Anibal De Moraes
1. Agropecuária. 2. Adubação. 3. Nitrogênio na agricultura. 4.
Nitrogênio - fixação. 5. Solos - Teor de nitrogênio. I. Faccio,
Paulo César De (Orientador). II. Moraes, Anibal De (Coorientador).
III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDU 631.416.1



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de GLEICE MENEZES DE ALMEIDA intitulada: **DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL E EFICIÊNCIA DO USO DO NITROGÊNIO NA FASE PASTAGEM DE UM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 27 de Março de 2019.


PAULO CÉSAR DE FACCIO CARVALHO
Presidente da Banca Examinadora


TALES TIECHER
Avaliador Externo (UFRGS)


ANIBAL DE MORAES
Avaliador Interno (UFPR)


TANGRIANI SIMIONI-ASSMANN
Avaliador Externo (UTFPR)


MARCOS WEBER DO CANTO
Avaliador Externo (UEM)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois esteve presente nos momentos mais difíceis, sem ele nada conseguiria e conquistaria.

Ao meu orientador e professor Dr. Paulo César de Faccio Carvalho, pela oportunidade do doutorado e paciência durante o decorrer desses anos.

Aos demais professores que passaram em minha vida me cativando a continuar a carreira acadêmica. E em especial ao professor Dr. Marcos Weber do Canto, por me dar a primeira oportunidade de trabalhar como bolsista de iniciação científica que perdurou, e hoje estou realizando um sonho.

A minha família, meu paizinho Valdemar Rocha de Almeida, aos meus irmãos Ailton Menezes de Almeida, Dejair Menezes de Almeida e Jair Menezes de Almeida e irmãs Irma Menezes dos Santos e Nair Menezes, ao meu sobrinho Matheus Montini de Souza. Enfim, a toda minha família, que sempre esteve no meu coração e me fez aguentar a saudade da distância. Mas, o agradecimento mais que especial é para minha amada MÃE Maria Menezes de Almeida, mesmo longe, foi a minha força para continuar e nunca desistir.

Ao meu irmão que Deus colocou na minha vida a cinco anos, hoje se estou fechando mais um ciclo da minha vida foi porque ele estava ao meu lado me apoiando e me dando a mão quando eu mais precisei, William de Souza Filho, você tem todo meu respeito e minha admiração. E aos amigos especiais Vanessa Bertolazi e Anderson Soares 'nosso Pitiço' por todo carinho, atenção e aprendizado.

Aos demais amigos do Grupo de Pesquisa em Ecologia do Pastejo (GPEP), que sempre estavam ali para dividir uma xícara de café. E a minha querida pesquisadora júnior, Débora Rubin, que me ajudou muito na 'lida' e na vida. E todos os bolsistas que passaram dias e dias moendo amostras, meu sincero agradecimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), a CAPES pela bolsa que me manteve durante toda a minha jornada.

A todos os funcionários da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

E por fim, a todos que de alguma forma contribuiu para concretização desse sonho.

“Mesmo desacreditado e ignorado por
todos, não posso desistir, pois para mim,
vencer é nunca desistir.”

Albert Einstein

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio, utilizando como ferramenta de diagnóstico o índice de nutrição nitrogenada, e determinar a eficiência de absorção de N (EAN), eficiência de utilização de N (EUtN) e a eficiência de uso de N (EUN) no estabelecimento da fase pastagem em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). Foram conduzidos dois experimentos na Fazenda Espinilho, em São Miguel das Missões, RS, Brasil, em delineamento de blocos completos ao acaso com três repetições para cada tratamento de dose de N, e com duas repetições para área sem pastejo (SP). O primeiro experimento foi conduzido com três doses de N (74, 90 e 113 kg de N ha⁻¹), durante três anos consecutivos (Ano I – 2014, Ano II – 2015 e Ano III – 2016). O segundo experimento avaliou cinco doses de N (74, 90, 113, 80 e 80 kg N ha⁻¹), e foi conduzido durante cinco anos consecutivos (Ano I – 2014, Ano II – 2015; Ano III – 2016; Ano IV – 2017 e Ano V – 2018). Em SIPA, doses de N de 70 e 94 kg ha⁻¹ não foram suficientes em atender as demandas de N na pastagem. No entanto, a dose de 113 kg N ha⁻¹ foi suficiente para expressar todo o potencial produtivo do pasto. A maior EAN foi observada nas plantas que receberam a dose de 80 kg de N ha⁻¹ (1,08) no ano V. Para o pasto que recebeu a maior taxa de adubação (113 kg de N ha⁻¹) foi menos eficiente em utilizar o N (28,5 kg kg⁻¹). E por fim, a maior EUN foi observada no pasto que recebeu a última dose de 80 kg de N ha⁻¹. Portanto, em SIPA, doses de N de 80 kg ha⁻¹ não atingem INN adequado, mas propiciaram maior eficiência de uso do N, indicando que o sistema contribui com a ciclagem de nutrientes.

Palavras-chave: Índice de nutrição nitrogenada; manejo do pasto; intensificação sustentável

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different nitrogen doses, using as a diagnostic tool the nitrogen nutrition index, and to determine the nitrogen uptake efficiency (NUpE), nitrogen utilization efficiency (NUtE) and nitrogen use efficiency (NUE) in the establishment of phase pasture in integrated crop-livestock system (ICLS). Two experiments were carried out at Fazenda Espinilho, in São Miguel das Missões, RS, Brazil, in a randomized complete block design with three replicates for each N dose treatment and two replications for no-grazing (NG). The first experiment was conducted with three replicates for each treatment of N doses (74, 90 and 113 kg of N ha⁻¹) for three consecutive years (Year I - 2014, Year II - 2015 and Year III - 2016). The second experiment evaluated five doses of N (74, 90, 113, 80 and 80 kg N ha⁻¹), and was conducted for five consecutive years (Year I - 2014, Year II - 2015, Year III - 2016, Year IV - 2017 and Year V - 2018). In SIPA, N doses of 70 and 94 kg ha⁻¹ were not sufficient to meet the demands of N in the pasture. However, the dose of 113 kg N ha⁻¹ was sufficient to express the full productive potential of the pasture. The highest NUpE was observed in the plants that received 80 kg of N ha⁻¹ (1.08) in year V. For the pasture that received the highest fertilization rate (113 kg of N ha⁻¹) was less efficient to utilization the N (28.5 kg kg⁻¹). And finally, the highest NUE was observed in the pasture that received the last dose of 80 kg of N ha⁻¹. Therefore, in ICLS, N doses of 80 kg ha⁻¹ do not reach adequate INN, but they favored a higher N efficiency, indicating that the system contributes to nutrient cycling.

Key-words: Nitrogen Nutrition Index; pasture management; sustainable intensification

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1 HIPÓTESES	17
1.2 OBJETIVOS GERAIS	17
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: IMPACTOS DO PASTEJO	19
2.2 IMPACTOS DO PASTEJO NA DINÂMICA DO NITROGÊNIO E CARBONO DO SOLO	21
2.3 MODELO DE DILUIÇÃO E ÍNDICE DE NUTRIÇÃO NITROGENADA	23
2.4 EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO	25
2.5 CICLAGEM DE NUTRIENTES	26
3 REFERÊNCIAS	28
4 CAPÍTULO I	37
RESUMO	38
4.1 INTRODUÇÃO	40
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	42
4.2.1 Local, clima e histórico experimental	42
4.2.2 Características do solo	43
4.2.3 Tratamentos experimentais	43
4.2.4 Adubações complementares	44
4.2.5 Amostragens	44
4.2.6 Análises laboratoriais	44
4.2.7 Análise estatística	45
4.3 RESULTADOS	45
4.4 DISCUSSÃO	48
4.5 CONCLUSÕES	52
4.6 REFERÊNCIAS	52
5 CAPÍTULO II	63
RESUMO	64
5.1 INTRODUÇÃO	66
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	67

5.2.1 Local, clima e histórico experimental	67
5.2.2 Características do solo	69
5.2.3 Tratamentos experimentais	70
5.2.4 Adubações complementares e semeadura	70
5.2.5 Amostragens	70
5.2.6 Análises laboratoriais	71
5.2.7 Análise estatística	72
5.3 RESULTADOS	72
5.4 DISCUSSÃO	76
5.5 CONCLUSÕES	83
5.6 REFERÊNCIAS	84

RELAÇÃO DE TABELAS

CAPÍTULO I - Diagnóstico nutricional do nitrogênio de pastos mistos de aveia e azevém em sistema integrado de produção agropecuária

Tabela 1 - Efeito das doses de nitrogênio em pastos mistos de aveia e azevém em sistema integrado de produção agropecuária47

CAPÍTULO II - Sistema integrado de produção agropecuária tem aptidão para usar níveis decrescentes de insumos nitrogenados e ser mais eficiente no uso de nitrogênio?

Tabela 2 - Efeito de doses de nitrogênio em pastos mistos de aveia e azevém em sistema integrado de produção agropecuária73

Tabela 3 - Efeito das alturas de manejo em pastos mistos de aveia e azevém em sistema integrado de produção agropecuária74

Tabela 4 - Resumo dos resultados obtidos nos anos experimentais avaliados para as variáveis rendimento de soja, índice de nutrição nitrogenada da pastagem e eficiência uso do nitrogênio.....76

RELAÇÃO DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1 - Esquema simplificado do ciclo do carbono e do nitrogênio no solo para ecossistemas pastoris.....	28
--	----

CAPÍTULO I - Diagnóstico nutricional do nitrogênio de pastos mistos de aveia e azevém em sistema integrado de produção agropecuária

Figura 2 - Linha do tempo das atividades realizadas durante a fase pastagem dos ciclos de rotação dos anos 2014, 2015 e 2016	43
---	----

Figura 3 - Precipitação mensal (mm) e temperatura média do ar (°C) do experimento no ano I, II e III.....	46
--	----

Figura 4 - Curva de diluição de nitrogênio em função do acúmulo de biomassa de pastos mistos de aveia e azevém em relação a diferentes níveis de nitrogênio aplicado na fase pastagem em um sistema integrado de produção agropecuária....	48
---	----

CAPÍTULO II - Sistema integrado de produção agropecuária tem aptidão para usar níveis decrescentes de insumos nitrogenados e ser mais eficiente no uso de nitrogênio?

Figura 5 - Médias de temperatura do ar máxima (°Cmax), mínima (°Cmin) e precipitação, realizadas durante o período experimental de 2014 a 2018.	68
---	----

Figura 6 - Linha do tempo das atividades realizadas durante a fase pastagem nos cinco anos avaliados.....	69
--	----

Figura 7 - Curva de diluição de nitrogênio proposta por Lemaire (2008), de acordo com a acumulação de biomassa do pasto em relação ao nível de nitrogênio em diferentes alturas de manejo do pasto e sem pastejo em cinco anos consecutivos .75

1 INTRODUÇÃO GERAL

A demanda por alimento no mundo vem aumentando e para atender a projeção de alimentos até 2050 será necessário um aumento de 70% no rendimento das culturas agrícolas (TILMAN et al., 2011). De acordo com a FAO (2014), a produção atual e futura de alimentos seguros deve estar de acordo com os princípios da agricultura sustentável, de uma maneira que seja ambiental, econômica e socialmente responsável.

Nesse contexto, o sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) é reconhecido como a alternativa mais promissora para intensificação sustentável da produção de alimentos e fibras, rigorosamente por ser mais eficiente e uma prática reconhecidamente mitigadora de impactos ambientais (FAO, 2010). Adicionalmente, esses sistemas visam reduzir o uso de fertilizantes, pois tem o potencial de promover a ciclagem de nutrientes e intensificar a produção, são mais eficientes no uso dos recursos naturais, melhoram o solo e produzem inúmeros serviços ambientais (CARVALHO et al., 2014).

Em nível global, os SIPA representam uma das principais formas de uso da terra, ocupando cerca de 25 milhões km² (BELL; MOORE, 2012), produzindo aproximadamente a metade dos alimentos consumidos no mundo e alimentando quase dois bilhões de pessoas nos países em desenvolvimento (WRIGHT et al., 2012). No Brasil, notadamente nas regiões subtropicais, os sistemas integrados têm como concepção de base a rotação de culturas, e tem sido proposta como alternativa às clássicas rotações entre culturas anuais de verão e as culturas anuais de inverno. Durante o verão destacam-se a soja, o milho e o arroz e, em culturas de inverno destacam-se o trigo e a aveia branca. Porém, na medida em que as culturas de inverno não têm tido interesse por parte dos produtores (problemas sanitários, de custo, de preço, cultural, extremos climáticos, etc.), o uso de forrageiras anuais de inverno (particularmente a aveia preta e o azevém) tem se apresentado como opção de cultivo, pois apresentam potencial para serem pastejadas durante boa parte do seu ciclo.

Em ecossistemas de pastagem, aproximadamente 95 a 98% do nitrogênio (N) presente no solo está associado à matéria orgânica do solo (MOS) sendo, portanto, o maior “reservatório de N” (COSTA; OLIVEIRA; FAQUIN, 2006) dentro dos SIPA. A ciclagem de N, promovida pela MOS, e também pelos resíduos de

palhada, é um processo simultâneo de mineralização-imobilização (LEMAIRE; JEUFFROY; GASTAL, 2008). Por este motivo, em muitas situações onde não ocorre o fornecimento de uma fonte nitrogenada mineral ao solo, o N disponibilizado às plantas é originado quase exclusivamente pelo processo de mineralização da matéria orgânica (MO). No entanto, com a suplementação de N por meio da adubação, altera-se o processo de decomposição dos resíduos e consequentemente a disponibilização de N no solo para a planta.

Em relação à safra de verão, os resíduos da cultura da soja apresentam relação C:N baixa, ou seja, rápida decomposição, induzindo a mineralização do N orgânico no solo (MUHAMMAD et al., 2011), logo podendo auxiliar em uma maior disponibilidade e um melhor aproveitamento do N para o desenvolvimento das plantas de inverno que vem em sucessão. Nesse sentido, o SIPA visa reduzir insumos por intermédio de melhores eficiências na dinâmica do N a longo prazo.

A intensidade de pastejo é outro aspecto de extrema importância para obtenção de alto rendimento e qualidade forrageira, bem como a melhoria da qualidade do solo e redução de compactação imposta pelo pisoteio (BALBINOT JR. et al., 2009), quando bem manejados. Em intensidade moderada de pastejo, os herbívoros favorecem a ciclagem de N e o ganho em produtividade, levando ao sequestro de carbono (C) no solo (BAGGS et al., 2000).

Em altas intensidades de pastejo, as perdas de N podem ser elevadas e reduzir a fertilidade do solo, o rendimento das plantas e ter efeitos adversos sobre o meio ambiente (TILMAN et al., 2011; CAMERON; DI; MOIR, 2013; LEMAIRES; GASTAL, 2018). Neste contexto, o desafio para os modernos sistemas de produção é minimizar a fertilização nitrogenada com manejos adequados, sem afetar o rendimento de biomassa. Por isso, o melhor aproveitamento dos nutrientes é um dos principais objetivos dos sistemas integrados, o que reduz a dependência de insumos externos e, consequentemente, as flutuações de mercado, levando a um sistema mais auto-suficiente (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008; GARRETT et al., 2017).

A avaliação precisa do status do N da pastagem em um sistema solo-planta-animal é a técnica chave para diminuir estas entradas de insumos. Uma ferramenta importante para o bom diagnóstico do status nutricional das plantas é o índice de nutrição nitrogenada (INN), proposto por Salette e Lemaire (1981) e confirmado em trabalhos que estudaram a curva de diluição do N (LEMAIRE; SALETTE, 1984a, b),

pois assessora na quantidade e o tempo exato da fertilização para melhor maximização de resultados.

Em conjunto com a avaliação precisa do status nutricional, a eficiência de uso de N (EUN) contribui ainda mais para o melhor rendimento do sistema, tornando-o ainda mais sustentável, pois auxilia a avaliação das perdas de N por volatilização e desnitrificação de aplicações excessivas de N para redução dos riscos de poluição ambiental, possibilitando a maximização de receitas econômicas dos produtores (MARINO et al., 2004; HIREL; LEMAIRE, 2006; MUURINEN; SLAFER; PELTONEN-SAINIO, 2006; FAGERIA; BALIGAR; LI, 2008).

Assim, a expansão de estudos sobre o diagnóstico nutricional somado ao uso eficiente do N da fase pastagem em SIPA por meio do estudo de diferentes doses de adubações ao longo dos anos, é de fundamental importância para o adequado manejo das entradas de insumos e, conseqüentemente, reduzir os impactos ambientais mediante ao melhor funcionamento da dinâmica do N a longo prazo.

1.1 HIPÓTESES

1. Em SIPA, a quantidade de nitrogênio transferida pela soja não é suficiente para o estabelecimento e desenvolvimento de uma pastagem mista de aveia e azevém;
2. Os SIPA têm a capacidade de ser mais eficiente no uso de nitrogênio e operar em níveis decrescentes de insumos.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

1. Avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio no estabelecimento de uma pastagem mista de aveia e azevém em SIPA;
2. Determinar a eficiência de absorção de N, eficiência de utilização de N e a eficiência de uso de N no estabelecimento da fase pastagem em SIPA.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar o índice de nutrição nitrogenada e relacionar com os rendimentos de matéria seca (MS) por hectare, teor de N absorvido e concentração de nitrogênio na planta;
2. Compreender se o SIPA tem capacidade de melhorar as eficiências com diferentes doses de insumos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: IMPACTOS DO PASTEJO

Nos primórdios da agricultura, os SIPA se resumiam à intenção de prover nutrientes aos cultivos, por meio da dejeção dos animais. Com a evolução da agricultura, e consequentemente desses sistemas, o contexto atual remete a objetivos mais amplos que a modesta adubação via dejetos. Atualmente, busca-se contemporizar a diversificação e a produção de alimentos seguros e de serviços ecossistêmicos, com dimensões econômicas e sociais, mediante a otimização do trabalho e a qualidade social (FAO, 2010). Logo, os sistemas integrados estão novamente em evidência, inovando-se sob os pilares da agricultura conservacionista (MARTINS et al., 2015).

A inovação dos sistemas deve-se à intensificação do uso do plantio direto (PD), com a cobertura do solo por meio do resíduo das culturas e a diversificação da rotação de culturas que, com o pastejo animal, resulta em interação sinérgica, aportando aos SIPA-PD, novas propriedades, designadas emergentes (ANGHINONI et al., 2011), que surgem quando ecossistemas atingem tal nível de organização que seus componentes, combinados, produzem fenômenos que não eram observados anteriormente. Segundo Anghinoni, Carvalho e Costa (2013), o incremento na complexidade, fruto da inserção do componente animal, aumenta a probabilidade destes sistemas expressarem tais propriedades.

Nas últimas décadas, esses sistemas associados ao PD têm adquirido importância como sistema de uso do solo inovador no Brasil, que melhora a produção de alimentos (grãos, leite e carne) e a renda econômica de agricultores. Experiências bem-sucedidas em SIPA também foram relatadas em climas subtropicais em outras regiões do planeta (STUDDERT; ECHEVERRIA; CASANOVAS, 1997; RUSSELLE; ENTZ; FRANZLUEBBERS, 2007; FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2008).

Um fator importante dentro desse contexto de interação sinérgica é a intensidade de pastejo durante a fase pastagem, que pode acelerar ou retardar a ciclagem de nutrientes, por modificar as condições bióticas e abióticas do solo (SHARIFF; BIONDINI; GRYGIEL, 1994). Portanto, o efeito benéfico dos SIPA-PD

com pastejo em intensidades moderadas decorre da melhor relação entre massa de raízes e parte aérea acumulada, em função do mínimo revolvimento do solo e, portanto, pouca incorporação mecânica dos resíduos vegetais, diminuindo sua oxidação (ANGHINONI; CARVALHO; COSTA, 2013).

Além disso, segundo os mesmos autores, o que contribui para o acúmulo de MOS em profundidade é o transporte de resíduos vegetais da superfície pela macro e mesofauna do solo, que é superior em sistemas integrados em relação aos puros. Assim, os SIPA, com intensidade moderada de pastejo, podem aumentar a MOS até níveis iguais (ou superiores) à vegetação nativa (SALTON et al., 2011), pois o pastejo estimula o crescimento de raízes (SOUZA et al., 2009; SHI et al., 2013). O pastejo intenso, em contrapartida, resulta em menores quantidades de resíduos aportados ao solo, o que também compromete o acúmulo de C ao solo (ASSMANN et al., 2014).

Para Shariff, Biondini e Grygiel (1994), em uma comunidade dominada por gramíneas, o pastejo moderado (44% de remoção da parte aérea) resultou em taxas mais altas de decomposição e mineralização de N, em comparação aos tratamentos não pastejados ou intensamente pastejados (77% de remoção da parte aérea). A taxa de decomposição de raízes e da parte aérea das plantas pastejadas de forma moderada foi de 59%, enquanto que as áreas não pastejadas e as altamente pastejadas atingiram taxas de decomposição de somente 13% e 19%, respectivamente, no mesmo período.

A quantidade de palha depositada sobre o solo no PD, decorrente das diferentes intensidades de pastejo, tem papel fundamental no controle de plantas invasoras na cultura sucessora. Kunrath et al. (2015) demonstraram que elevadas intensidades de pastejo (10 cm de altura de manejo do pasto) provocam elevada incidência de plantas invasoras, quando comparadas a intensidades moderadas a leves, ou mesmo ausência de pastejo. A menor ocorrência de plantas invasoras na cultura subsequente (soja), em áreas manejadas no inverno com maior altura de pasto (40 cm) ou apenas cultura de cobertura (sem pastejo), foi consequência da maior quantidade de resíduo depositada sobre o solo, impedindo que a radiação solar incidisse diretamente sobre o solo, reduzindo assim a variação da temperatura do mesmo e inibindo a germinação do banco de sementes.

Desse modo, a avaliação dos impactos do pastejo no contexto dos SIPA tem sido tema de grande interesse no Brasil. Dentre os inúmeros tópicos de pesquisa,

permanece a definição da altura de manejo do pasto que garanta, ao mesmo tempo, elevados índices pecuários e cobertura de solo para a cultura subsequente, dentro dos preceitos do sistema PD, conciliando produção sustentável e ambiental (ANGHINONI; CARVALHO; COSTA, 2013).

2.2 IMPACTOS DO PASTEJO NA DINÂMICA DO NITROGÊNIO E CARBONO DO SOLO

O N é o principal macronutriente mineral dos ecossistemas terrestres e, embora sendo o nutriente mais abundante na atmosfera, é o mais limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas nos ecossistemas naturais em todo o mundo (VITOUSEK et al. 2002, KRAISER et al. 2011). Sua absorção pelas plantas é altamente dependente de fatores abióticos (disponibilidade de N, umidade do solo, temperatura etc.), mas também da atividade microbiana no solo e do crescimento das plantas, tanto da biomassa aérea quanto das raízes (LEMAIRE; GASTAL, 1997; BUTTERBACH-BAHL et al., 2011).

Mais de 95% do N do solo encontra-se complexado na forma orgânica (CERETTA, 1995; WIETHÖLTER, 1996; SCHULTEN; SCHNITZER, 1997), sendo a MOS um importante reservatório de formas potencialmente disponíveis de N para os vegetais, principalmente o N nítrico (N-NO_3^-) e o amoniacal (N-NH_4^+). A mineralização e imobilização são os processos de transformação de N do solo, sendo ambos conduzidos pela atividade enzimática da microbiota heterotrófica (CAMARGO; SANTOS; GUERRA, 1999). A mineralização é definida como a transformação do N de origem orgânica em formas inorgânicas (NH_4^+ ou NO_3^-). Já a imobilização é definida como a transformação do N-inorgânico para formas orgânicas microbianas. Portanto, ambos processos funcionam em direções opostas, rompendo ou formando ligações entre compostos orgânicos.

A mineralização da MOS é responsável, por ano, pela conversão de 2 a 5% do N orgânico em mineral. Segundo D'Andrea et al. (2004) e Moreira (2006), esse processo é regulado pelo uso e manejo do solo, notadamente pelas espécies que são incluídas nos esquemas de rotação de culturas, de modo que o maior uso de leguminosas e a implantação de espécies com maior produção de biomassa causam maior armazenamento de N total no solo (BAYER; MIELNICZUK, 1999).

Sistemas que englobam o uso de gramíneas conduzidos em sistema de plantio direto são capazes de manter, ou até mesmo elevar, os teores de MOS nas camadas superficiais (DIECKOW et al., 2005; LOSS et al., 2009; BATLLE-BAYER; BATJES; BINDRABAN, 2010). Assim, a inclusão de plantas forrageiras na rotação permite que o sistema aumente a entrada de resíduos, pois o sistema radicular fasciculado e agressivo das gramíneas, em especial as pastagens de inverno, como aveia preta e azevém anual, tendem a promover maior agregação ao solo, ficando a MO protegida no interior dos agregados, evitando sua decomposição (SALTON et al., 2001).

Em SIPA, diferentes quantidades de massa de forragem e nutrientes reciclados podem aportar diferentes quantidades de C e N ao solo (NICOLOSO; LANZANOVA; LOVATO, 2006; LOPES et al., 2009; CARVALHO, 2010) devido, principalmente, ao manejo das pastagens e a intensidade de pastejo. De acordo com Boer et al. (2007), os nutrientes dentro desses sistemas são liberados mais lentamente, pois a decomposição do material vegetal é dependente da interação dos fatores climáticos com a qualidade do resíduo, e o animal no sistema é considerado um catalisador, pois ele é um dos responsáveis pelo retorno dos nutrientes ao sistema de produção, provocando o aumento de velocidade de retorno (ANGHINONI; CARVALHO; COSTA, 2013).

Dessa forma, a constante renovação foliar do pasto, em conjunto com a deposição constante de fezes e urina no solo, tendem a aumentar a entrada dos nutrientes no solo, assim como a disponibilidade desses nutrientes para o pasto e para a cultura de grãos cultivada em sucessão. Além disso, o pastejo pode modificar o ciclo do N por alterar a estrutura do pasto, a composição da vegetação e o teor de N nos tecidos das plantas. Essas mudanças provocadas pelo pastejo tendem a aumentar a disponibilidade de N inorgânico pela melhoria da qualidade da biomassa das plantas (BARDGETT; WARDLE; YEATES, 1998; ASSMANN et al., 2015), pelo efeito sobre a imobilização microbiana e por alterar o fluxo de C das plantas em direção ao solo (STARK; GRELLMANN, 2002).

O N, por ser um elemento muito dinâmico no solo, também pode sofrer com perdas no sistema mediante a volatilização, desnitrificação, lixiviação e/ou escoamento superficial (HAYNES; WILLIAMS, 1993). Em intensidades de pastejo mais intensas, essas perdas podem ser ainda mais altas, devido à baixa adição de resíduos no sistema, gerando condição de insustentabilidade. Ao contrário, em

intensidade moderada de pastejo, os herbívoros favorecem a ciclagem de N e o ganho em produtividade, levando ao sequestro de C no solo.

Os impactos ambientais pelo pastejo são determinados pelo balanço entre o aumento da acoplagem de C e N pelo pasto e a sua desacoplagem pelos animais (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014). O manejo adequado do pastejo e sua integração com espécies comerciais, influenciam os efeitos da desacoplagem pelos herbívoros, promovendo sinergia e ciclagem de nutrientes para a produção de alimentos, biodiversidade e serviços ambientais.

2.3 MODELO DE DILUIÇÃO E ÍNDICE DE NUTRIÇÃO NITROGENADA

Nas últimas décadas, muitos cientistas realizaram pesquisas sobre fisiologia, ecologia e manejo da nutrição com N em plantas cultivadas (ABROL et al., 1999) e descrevem a produção de biomassa das culturas em função do conteúdo de N nas plantas (DEVIENTE-BARRET et al., 2000; GASTAL; LEMAIRE, 2002; FARRUGGIA; GASTAL; SCHOLEFIELD, 2004; LEMAIRE et al., 2005). O diagnóstico do N na planta é considerado técnica chave para recomendar a quantidade e o tempo da fertilização nitrogenada na produção agrícola. Segundo Costa et al. (2001), uma adubação nitrogenada estrategicamente recomendada com o avanço da eficiência do manejo do N são dependentes da precisa avaliação do status do N em sistemas solo-planta.

A demanda de N na planta pode ser definida como a quantidade de N necessária para sustentar o seu potencial de crescimento, ou seja, o crescimento máximo da planta. Dessa forma, essa demanda de N resulta do seu potencial de crescimento e da sua concentração crítica de N (%N_c) (GASTAL, et al., 2015), que é definida como a concentração mínima de N na planta para atingir sua taxa máxima de crescimento (GREENWOOD et al., 1990; ULRICH, 1952).

A relação entre os valores de %N_c e biomassa da parte aérea resulta em uma curva crítica de diluição de N, inicialmente descrita por Lemaire e Salette (1984a, b), e representada pela equação: $\%N_c = a_c W^{-b}$, onde %N_c é teor de N crítico; a_c é a concentração de N crítico quando $W = 1 \text{ t ha}^{-1}$; W é biomassa acumulada em t MS ha^{-1} , e b é um coeficiente adimensional que representa a relação entre a diminuição relativa de %N na planta em relação a sua taxa de crescimento (GASTAL et al., 2015; LEMAIRE; GASTAL, 2018). Segundo Lemaire,

Jeuffroy e Gastal (2008), o coeficiente ac é diferente entre plantas C3 e C4, enquanto o coeficiente b é menos variável entre espécies, assumindo valores entre 0,3 e 0,4, respectivamente, sem qualquer diferença na taxa de diluição entre os grupos.

Para espécies de gramíneas C3 ou de clima temperado (LEMAIRE; GASTAL, 1997) o %Nc pode ser calculado por meio da equação: $\%Nc = 4,8 W^{-0,32}$. Em plantas C3 há grande similaridade entre o conteúdo de N e a taxa de crescimento vegetal, uma vez que o teor de N nos componentes fotossintéticos da massa vegetal e a bioquímica da fotossíntese são muito semelhantes para as plantas C3 (GREENWOOD et al., 1991).

De acordo com Greenwood et al. (1990) e Lemaire e Gastal (1997), a teoria da diluição de N das plantas em crescimento é baseada na hipótese de que a biomassa vegetal (W) é composta pelos tecidos metabólicos (W_m), que estão envolvidos diretamente no processo de crescimento (encontrado no parênquima fotossintético, localizado principalmente nas folhas, logo apresentam alta concentração de N) e pelos tecidos estruturais (W_s) necessários na arquitetura na planta e condução da água (identificado principalmente nos tecidos do esclerênquima e colênquima nos caules, apresentando baixa concentração de N). Segundo os mesmos autores, o processo de diluição é então resultante de uma evolução alométrica de W_m e W_s com a massa total da planta ($W = W_m + W_s$), portanto, a medida que a planta cresce, a um acúmulo de tecidos estruturais devido à baixa concentração de N e assim diminuindo essa concentração de N na planta.

Dessa forma, conhecendo o %Nc pode ser preconizado o estado nutricional das culturas, podendo diagnosticar se a quantidade de N disponível no solo está atendendo as demandas do sistema, por meio da avaliação do índice de nutrição nitrogenada (INN) (LI et al., 2012). O INN, portanto, é definido pela relação entre o teor de N atual da cultura (N_a) e teor de N crítico (N_c) (LEMAIRE; JEUFFROY; GASTAL, 2008). Uma vez determinada a equação de diluição do N_c para dada cultura, o INN pode ser usado em qualquer situação e período de crescimento da mesma. Valores de INN próximos a 1,0 indicam que a cultura se encontra com suprimento de N não limitante, valores superiores a 1,0 são considerados excedentes, ou seja, caracterizam a ocorrência de consumo de “luxo” de N pela planta, a qual, estando bem nutrida de N, armazena e acumula nos tecidos o N não

utilizado para o desenvolvimento e produção de MS. E por fim, valores $<1,0$ indicam deficiência de N (LEMAIRE; JEUFFROY; GASTAL, 2008).

Neste sentido, o diagnóstico precoce da deficiência de N, por meio da utilização do INN nas fases iniciais de rebrota, pode prever a capacidade produtiva da pastagem, como também estimar as taxas de adubações nitrogenadas (AGNUSDEI et al., 2010) e, assim, ser utilizado para quantificar as condições de deficiência e de consumo de luxo do N (LEMAIRE; GASTAL, 1997). Situações em que o INN for maior ou igual a 1,0 pode-se protelar, ou diminuir, a quantidade de N aplicado. Em momentos em que o INN for menor que 1,0 pode-se antecipar uma aplicação, ou aumentar as doses de N, dependendo da intensidade dessa deficiência (LEMAIRE; JEUFFROY; GASTAL, 2008).

2.4 EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO

A eficiência de uso de nitrogênio (EUN) pode ter várias definições. Uma delas seria o máximo rendimento econômico produzido por unidade de N aplicado, absorvido ou utilizado pela planta para produzir grãos e palha (FAGERIA; BALIGAR, 2005). Ou ainda, é o rendimento de grãos produzido por unidade de suprimento de N no solo ou fertilizantes (SOWERS et al., 1994). Vários fatores podem afetar a EUN, tais como cultivares, tipo de solo, temperatura, condição hídrica do solo, taxa de aplicação de fertilizantes nitrogenados e rotação de culturas (HALVORSON; WIENHOLD; BLACK, 2001).

A EUN é composta por dois dos mais importantes processos fisiológicos (MOLL; KAMPRATH; JACKSON, 1982) em culturas agrícolas: 1) a eficiência pela qual o N é absorvido pela cultura, EAN ($\text{kg N kg}^{-1} \text{N}$), ou seja, a razão da quantidade de N absorvida pela planta (ou concentração de N, kg NS) pela quantidade de N disponível no solo (NS); e 2) a eficiência pela qual o N absorvido na planta é usado para produção de MS/grãos/sementes, EUtN, ou seja, a quantidade de MS/grãos/sementes produzidos por unidade de N nas plantas. Em suas pesquisas, Moll, Kamprath e Jackson (1982) substituíram o N da adubação pelo N disponível e o N absorvido na parte aérea das plantas pelo N total das plantas, para facilitar a composição das variáveis à campo.

Em resumo, a EUN é produto de duas eficiências, a EAN e a EUtN. A EAN dependeria da profundidade e da intensidade de enraizamento que regulam o N total

absorvido (capacidade de absorção de do sistema, demanda de N da planta), e a EUN dependeria da efetiva translocação do N dos caules e folhas para os tecidos que estariam formando as sementes e que representariam órgãos “drenos” para N, mas também da demanda reduzida desses tecidos (RATHKE; BEHRENS; DIEPENBROCK, 2006). Van Ginkel et al. (2001) indicaram que, sob alto teor de N, a alta EAN é uma característica desejável que descreve a EUN, enquanto que em sistemas de baixo insumo o desenvolvimento de cultivares com alta EUN é considerado mais desejável.

Na literatura, trabalhos que avaliaram a EUN e seus componentes no rendimento de forragem por cortes da parte aérea em forrageiras de inverno têm sido motivo de estudos frequentes (MARINO et al., 2004; MILLS; MOOT; JAMIESON, 2009). Em gramíneas tropicais, também se encontram dados experimentais de EUN determinadas para avaliar a conversão de N em forragem, porém, em número bastante menor se comparado às gramíneas de inverno.

As pastagens em geral têm a característica de possuírem sistema radicular agressivo e alta produção de parte aérea. Esses dois fatos se tornam positivos quando se deseja acumular C no solo, visto que a incorporação desse elemento por parte das gramíneas é alta. De acordo com Lemaire e Chapman (1996), o C é o principal constituinte dos tecidos das plantas, portanto, o acúmulo de biomassa é determinado pelo acúmulo de C que, por sua vez, é influenciado pelo conteúdo de N. Logo, em SIPA, o aporte de C é maior, pela presença das pastagens, que é influenciado pelo maior conteúdo de N derivado dos resíduos e excretas animais, e portanto, o sistema pode ser bem mais eficiente em termos de uso de N. Ou seja, o sistema possui maior capacidade de absorver, utilizar e remobilizar o N para as culturas.

2.5 CICLAGEM DE NUTRIENTES

A característica mais reconhecida para distinguir os sistemas integrados é a ciclagem de nutrientes, que consiste no fluxo de nutrientes entre os diversos compartimentos (atmosfera-planta-animal-solo-água) dos agroecossistemas. Enquanto os diferentes componentes vegetais incorporam nutrientes e energia, os animais funcionam como catalisadores ao introduzirem variabilidade e novas vias de

fluxos de nutrientes, e o solo é o compartimento mediador dos processos (ANGHINONI; CARVALHO; COSTA, 2013).

As pastagens, dentro desses sistemas, são de fundamental importância, mas necessitam do correto manejo e de adubações apropriadas, caso contrário podem degradar o solo. Com a implantação das forrageiras, os nutrientes são absorvidos e incorporados na biomassa vegetal que será consumida pelo animal, com pequena incorporação em seu organismo.

A ciclagem de nutrientes se torna mais complexa quando da presença dos animais, uma vez que estes alteram a velocidade e a rota entre os compartimentos pela produção de urina e dejetos sólidos. Com o pastejo, à remoção da biomassa aérea das plantas, reduz a entrada de C no solo por esta via. No entanto, quando utilizado de forma adequada, pode compensar, e até aumentar, a entrada de C no solo via raízes. O pastejo adequado estimula a liberação de exsudatos radiculares e o crescimento radicular das plantas, promovendo maior aporte de C ao solo (BARDGETT; WARDLE; YEATES, 1998; PIÑEIRO et al., 2010). A entrada de C no solo estimula a atividade dos microrganismos e a formação de matéria orgânica (BRADFORD et al., 2013). Além disso, a deposição de esterco e urina durante o pastejo acelera a ciclagem de nutrientes proporcionando aumento da produção primária das plantas, especialmente em solos de baixa fertilidade (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014).

O pastejo animal também influencia no ciclo do N, por alterar a estrutura do pasto, a composição da vegetação e o teor de nitrogênio nos tecidos das plantas, aumentando a disponibilidade de N inorgânico (BARDGETT; WARDLE; YEATES, 1998) para a cultura em sucessão. Adicionalmente, o desenvolvimento da lavoura é influenciado pelas condições de manejo da pastagem (CARVALHO, 2010), pela melhor qualidade dos pastos e das fezes. Assim, em intensidades de pastejo moderadas, são liberadas maiores quantidades de N via resíduo do pasto e excretas, em relação à intensidade alta de pastejo (ASSMANN et al., 2015).

A presença do animal pode também influenciar a mineralização-imobilização de N no solo, pois facilita a rápida decomposição do substrato, ao mesmo tempo que aumenta a taxa de reciclagem de N como resultado de deposição de esterco e urina (Figura 1).

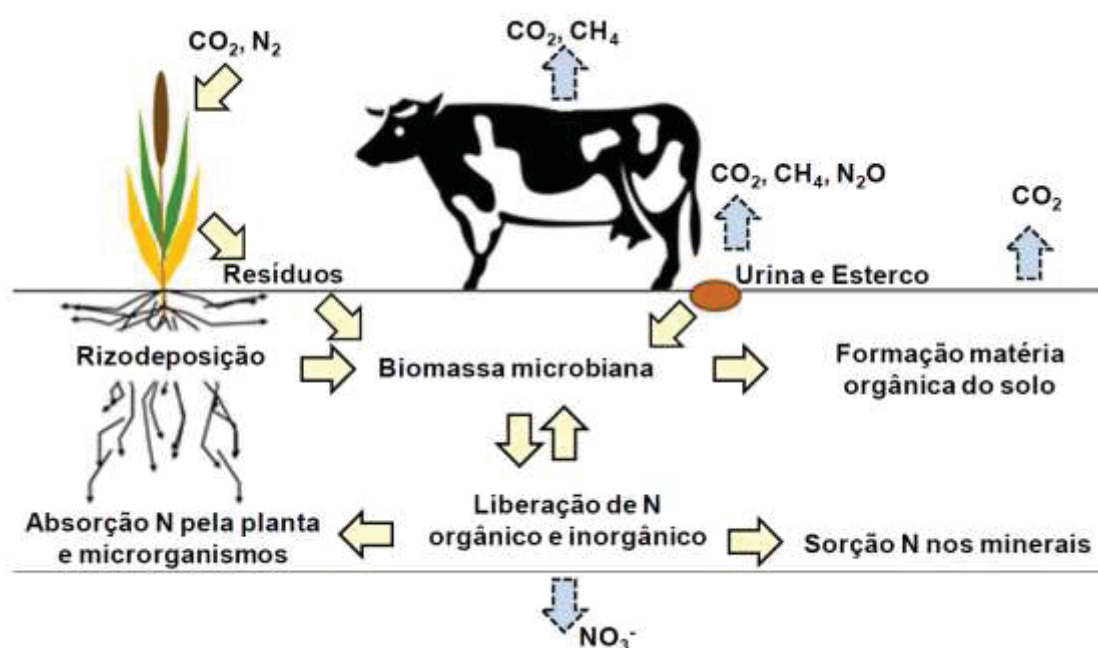


Figura 1 - Esquema simplificado do ciclo do carbono e do nitrogênio no solo para ecossistemas pastoris. As flechas pontilhadas indicam as saídas dos componentes do sistema. CO_2 : dióxido de carbono; N_2 : nitrogênio elementar; CH_4 : metano; N_2O : óxido nitroso; NO_3^- : nitrato (adaptado de Rumpel et al., 2015).

Semmartin, Garibaldi e Chaneton (2008) descrevem que os animais, ao permanecerem em uma área à longo prazo, geram retorno positivo da ciclagem de nutrientes no sistema planta-solo, pois ocorre seleção natural de organismos decompositores de espécies tolerantes a presença de animais.

3 REFERÊNCIAS

ABROL, Y. P. et al. Improvement in nitrogen use efficiency: physiological and molecular approaches. **Current Science**, v. 76, n. 10, pp. 1357–1364, 1999.

AGNUSDEI, M. G. et al. Critical N concentration can vary with growth conditions in forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, n. 2, p. 215–230, 2010.

ANGHINONI, I. et al. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In: Fonseca, A. F.; Caires, E. F.; Barth, G., (Eds). **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto**.

Ponta Grossa: INPAG, p. 272–309, 2011.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Tópicos em ciência do solo. In: Araújo, A. P.; Avelar, B. J. R., (Eds). **Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro**. 8. ed. Viçosa: UFV, cap. 8, p. 221–278, 2013.

ASSMANN, J. M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 52–59, 2014.

ASSMANN, J. M. et al. Carbon and nitrogen cycling in an integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 10, p. 967–978, 2015.

BAGGS, E. M. et al. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. **Soil Use and Management**, v. 16, p. 82–87, 2000.

BALBINOT JR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1925–1934, 2009.

BARDGETT, R. D.; WARDLE, D. A.; YEATES, G. W. Linking above-ground and below-ground interactions: how plant responses to foliar herbivory influence soil organisms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 14, p. 1867–1878, 1998.

BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N. H.; BINDRABAN, P. S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137, n. 1–2, p. 47–58, 2010.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G. de A.; Silva, L. S. da; Canellas, L. P.; Camargo, F. de O., (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênesis, p. 9–26, 1999.

BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, v. 111, p. 1–12, 2012.

BOER, C. A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1269–1276, 2007.

BRADFORD, M. A. et al. Empirical evidence that soil carbon formation from plant inputs is positively related to microbial growth. **Biogeochemistry**, v. 113, n. 1–3, p. 271–281, 2013.

BUTTERBACH-BAHL, K. et al. Nitrogen processes in terrestrial ecosystems. In: Sutton, M. A.; Howard, C. M.; Erisman, J. W.; Billen, G.; Bleeker, A.; Grennfelt, P.; Grisven, V-H.; Grizzetti, B., (Eds). **The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, p. 99–125, 2011.

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: Santos, G. A.; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. O., (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p. 27–39, 1999.

CAMERON, K. C.; DI, H. J.; MOIR, J. L. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. **Annals of Applied Biology**, v. 162, n. 2, p. 145–173, 2013.

CARVALHO, J. L. N. **Dinâmica do carbono e fluxo de gases do efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado**. 141 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2010.

CARVALHO, P. C. F. et al. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1040–1046, 2014.

CERETTA, C. A. **Fracionamento de N orgânico, substâncias húmicas e caracterização de ácidos húmicos de solo em sistemas de cultura sob plantio direto**. 127 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Setor de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

CORSI, M.; MARTHA JR, G. B. Manutenção da fertilidade do solo em sistemas intensivos de pastejo rotacionado. **Simpósio sobre manejo da pastagem**, v. 14, p. 161–192, 1997.

COSTA, C. et al. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p.

1173–1194, 2001.

COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; FAQUIN, V. Adubação nitrogenada para pastagens do gênero *Brachiaria* em solos do Cerrado. Santo Antônio de Goiás: **Documentos / Embrapa Arroz e Feijão (INFOTECA-E)**, 60 p., 2006.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179–186, 2004.

DEVIIENNE-BARRET, F. et al. Integrated control of nitrate uptake by crop growth rate and soil nitrate availability under field conditions. **Annals of Botany**, v. 86, n. 5, p. 995–1005, 2000.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, v. 268, n. 1, p. 319–328, 2005.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88, p. 97–185, 2005.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; LI, Y. C. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 6, p. 1121–1157, 2008.

FAO. Sete Lagoas consensus on integrated crop–livestock systems for sustainable development. In: An International Consultation on Integrated Crop–Livestock Systems for Development. **The Way Forward for Sustainable Production Intensification**, v. 13, 64 p., 2010.

FAO. **Building a common vision for sustainable food and agriculture: Principles and Approaches**, Rome, 56 p., 2014.

FARRUGGIA, A.; GASTAL, F.; SCHOLEFIELD, D. Assessment of the nitrogen status of grassland. **Grass and Forage Science**, v. 59, n. 2, p. 113–120, 2004.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. **Soil and Tillage Research**, v. 100, n. 1–2, p. 141–153, 2008.

GARRETT, R. et al. Policies for reintegrating crop and livestock systems: a comparative analysis. **Sustainability**, v. 9, n. 3, p. 473, 2017.

GASTAL, F. et al. Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. In: Sadras, V. O.; Calderini, D., (Eds). **Crop Physiology – Applications for Genetic Improvement and Agronomy**, Appendix A. Supplementary data 2. ed. Academic Press: Elsevier, pp. 161–206, 2015.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 370, p. 789–799, 2002.

GREENWOOD, D. J. et al. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. **Annals of botany**, v. 66, n. 4, p. 425–436, 1990.

GREENWOOD, D. J. et al. Growth rate and % N of field grown crops: theory and experiments. **Annals of Botany**, v. 67, n. 2, p. 181–190, 1991.

HALVORSON, A. D.; WIENHOLD, B. J.; BLACK, A. L. Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 4, p. 836–841, 2001.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, v. 49, p. 119–199, 1993.

HIREL, B.; LEMAIRE, G. From agronomy and ecophysiology to molecular genetics for improving nitrogen use efficiency in crops. **Journal of Crop Improvement**, v. 15, n. 2, p. 213–257, 2006.

KRAISER, T. et al. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 4, p. 1455–1466, 2011.

KUNRATH, T. R. et al. How much do sod-based rotations reduce nitrate leaching in a cereal cropping system? **Agricultural Water Management**, v. 150, p. 46–56, 2015.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. –Etude de l'effet du milieu. **Agronomie**, v. 4, n. 5, p. 423–430, 1984. a.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et

dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. II. –Etude de la variabilité entre génotypes. **Agronomie**, v. 4, n. 5, p. 431–436, 1984. b.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J.; Illius, A. W., (Eds). **The ecology and management of grazing systems**. London: CAB International, p. 3–36, 1996.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire, G., (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 3–43, 1997.

LEMAIRE, G. et al. Developmental changes in shoot N dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) in relation to leaf growth dynamics as a function of plant density and hierarchical position within the canopy. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 413, p. 935–943, 2005.

LEMAIRE, G.; JEUFFROY, M.-H.; GASTAL, F. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. **European Journal of agronomy**, v. 28, n. 4, p. 614–624, 2008.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. Crop responses to nitrogen. **Encyclopedia of Sustainability Science and Technology**, p. 1–27, 2018.

LI, C. et al. Manure-DNDC: a biogeochemical process model for quantifying greenhouse gas and ammonia emissions from livestock manure systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 93, n. 2, p. 163–200, 2012.

LOPES, M. L. T. et al. Crop-livestock integration system: effect of oat and italian ryegrass sward height management on soybean yield. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1499–1506, 2009.

LOSS, A. et al. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p. 1077–1082, 2009.

MARINO, M. A. et al. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter–spring growth of annual ryegrass. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 3, p. 601–607, 2004.

MARTINS, A. P. et al. **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. 2.

ed. Porto Alegre: Boletim Técnico UFRGS, 102 p., 2015.

MILLS, A.; MOOT, D. J.; JAMIESON, P. D. Quantifying the effect of nitrogen on productivity of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) pastures. **European Journal of Agronomy**, v. 30, n. 2, p. 63–69, 2009.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization 1. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 3, p. 562–564, 1982.

MOREIRA, F. M. S. **Microbiologia e bioquímica do solo**. In: Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O., (Eds). 2. ed. Lavras: UFLA, 729 p., 2006.

MUHAMMAD, W. et al. Crop residues and fertilizer nitrogen influence residue decomposition and nitrous oxide emission from a vertisol. **Biology Fertility Soils**, v. 47, p. 15–23, 2011.

MUURINEN, S.; SLAFER, G. A.; PELTONEN-SAINIO, P. Breeding effects on nitrogen use efficiency of spring cereals under northern conditions. **Crop Science**, v. 46, n. 2, p. 561–568, 2006.

NICOLOSO, R. S.; LANZANOVA, M. E.; LOVATO, T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1799–1805, 2006.

PIÑEIRO, G. et al. Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. **Rangeland Ecology and Management**, v. 63, p. 109–119, 2010.

RATHKE, G.-W.; BEHRENS, T.; DIEPENBROCK, W. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 117, n. 2–3, p. 80–108, 2006.

RUMPEL, C. et al. The impact of grassland management on biogeochemical cycles involving carbon, nitrogen and phosphorus. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, n. 2, p. 353–371, 2015.

RUSSELLE, M. P.; ENTZ, M. H.; FRANZLUEBBERS, A. J. Reconsidering integrated crop–livestock systems in North America. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 325–334, 2007.

SALETTE, J.; LEMAIRE, G. Sur la variation de la teneur en azote des graminées fourragères pendant leur croissance: formulation d'une loi de dilution. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, v. 292, p. 875–878, 1981.

SALTON, J. C. et al. **Pastoreio da aveia e compactação do solo**. Dourados: Comunicado Técnico 48 / Embrapa Agropecuária Oeste (INFOTECA-E), 5 p., 2001.

SALTON, J. C. et al. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1349–1356, 2011.

SCHULTEN, H.-R.; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 26, n. 1, p. 1–15, 1997.

SEMMARTIN, M.; GARIBALDI, L. A.; CHANETON, E. J. Grazing history effects on above-and below-ground litter decomposition and nutrient cycling in two co-occurring grasses. **Plant and Soil**, v. 303, n. 1–2, p. 177–189, 2008.

SHARIFF, A. R.; BIONDINI, M. E.; GRYGIEL, C. E. Grazing intensity effects on litter decomposition and soil nitrogen mineralization. **Journal of Range Management**, v. 47, n. 6, p. 444–449, 1994.

SHI, S. et al. A synthesis of change in deep soil organic carbon stores with afforestation of agricultural soils. **Forest Ecology and Management**, v. 296, p. 53–63, 2013.

SOUSSANA, J.-F.; LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 9–17, 2014.

SOUZA, E. D. De et al. Soil organic carbon and nitrogen stocks in an untilled crop-livestock integration system under different grazing intensities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1829–1836, 2009.

SOWERS, K. E. et al. Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 6, p. 942–948, 1994.

STARK, S.; GRELLMANN, D. Soil microbial responses to herbivory in an arctic tundra heath at two levels of nutrient availability. **Ecology**, v. 83, n. 10, p. 2736–2744, 2002.

STUDDERT, G. A.; ECHEVERRIA, H. E.; CASANOVAS, E. M. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 5, p. 1466–1472. 1997.

TILMAN, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 3, n. 1, p. 207–228, 1952.

VAN GINKEL, M. et al. Methodology for selecting segregating populations for improved N-use efficiency in bread wheat. **Euphytica**, v.119, p. 223–230, 2001.

VITOUSEK, P. M. et al. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation. **Biogeochemistry**, v. 57/58, p. 1–45, 2002.

WIETHÖLTER, S. **Adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT (INFOTECA-E), 45 p., 1996.

WRIGHT, I. A. et al. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 5, p. 1010–1015, 2012.

4 CAPÍTULO I

Diagnóstico nutricional do nitrogênio de pastos mistos de aveia e azevém em
sistema integrado de produção agropecuária

Diagnóstico nutricional do nitrogênio de pastos mistos de aveia e azevém em sistema integrado de produção agropecuária

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio de pastos mistos de aveia preta e azevém anual em SIPA com lavoura soja, utilizando como ferramenta de diagnóstico o índice de nutrição nitrogenada (INN) durante a fase de estabelecimento da pastagem. O experimento foi conduzido na Fazenda Espinilho, em São Miguel das Missões, RS, Brasil, em delineamento de blocos completos ao acaso com três repetições para cada tratamento de dose de N (74, 90 e 113 kg de N ha⁻¹) e com duas repetições para área sem pastejo (SP), e foi conduzido durante três anos consecutivos (Ano I – 2014, Ano II – 2015 e Ano III – 2016) durante a fase pastagem. Para as doses de 74 e 90 kg de N ha⁻¹, os rendimentos de MS, CNP, Nabsorvido e INN obtiveram médias estatisticamente iguais, não apresentando diferença entre tratamentos ($P>0,05$). Já para o tratamento com 113 kg de N ha⁻¹, foi superior em todas as variáveis avaliadas o que gerou um efeito cascata no resultado de N absorvido e $INN>1$. Em SIPA, a quantidade de nitrogênio aplicada para estabelecimento na fase pastagem foi 20% inferior ao recomendado. No entanto, apenas com o aporte de nitrogênio da lavoura, não é suficiente para atender a necessidade de nitrogênio do sistema. Adubações nitrogenadas na ordem de 113 kg N ha⁻¹ apresentaram INN adequado e proporcionam o estabelecimento adequado da fase pastagem no seu ótimo do potencial produtivo.

Palavras-chave: Índice de nutrição nitrogenada, adubação nitrogenada, manejo do pasto

Nitrogen nutrition diagnosis of a mixed oats x annual ryegrass pasture in an integrated crop-livestock system

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different doses of nitrogen of mixed black oats and annual ryegrass pastures on ICLS with soybean crop, using the Nitrogen Nutrition Index (NNI) as a diagnostic tool during the pasture establishment phase. The experiment was conducted at Fazenda Espinilho, São Miguel das Missões, RS, Brazil, in a randomized complete block design with three replicates for each treatment of N doses (74, 90 and 113 kg of N ha⁻¹) and with two replications were applied to the area no-grazing (NG), and it was conducted during three consecutive years (Year I - 2014, Year II - 2015 and Year III - 2016) during the pasture phase. For the doses of 74 and 90 kg of N ha⁻¹, the yields of DM, CNP, Nabsorbed and NNI obtained statistically equal means, presenting no difference between treatments ($P>0.05$). For the treatment with 113 kg of N ha⁻¹, it was higher in all evaluated variables, which generated a cascade effect on the N absorbed result and $NNI>1$. In ICLS, the amount of nitrogen applied for establishment of the pasture phase was 20% lower than the recommended. However, only with the nitrogen input from the crop, is not enough to achieve the nitrogen requirement of the system. Nitrogen fertilizations in the order of 113 kg N ha⁻¹ presented satisfactory NNI and provide the adequate establishment of the pasture phase at its optimum of productive potential.

Key words: Nitrogen Nutrition Index, nitrogen fertilization, pasture management

4.1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO, 2010), há necessidade em aumentar a produção de alimentos e fibras para suprir a demanda de uma população crescente que ultrapassará nove bilhões de pessoas em 2050. O principal caminho para atingir esse objetivo seria a intensificação da produtividade de áreas já utilizadas para produção agropecuária. Por esta razão, os impactos ambientais gerados pelos sistemas de produção de alimentos deverão ser reduzidos sistematicamente, de forma que a intensificação ocorra de forma sustentável.

Dessa forma, o sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) tem sido reconhecido como alternativa de manejo sustentável dos ecossistemas. São sistemas planejados que envolvem interações entre os compartimentos solo-planta-animal em diferentes escalas, com exploração de animais e culturas em uma mesma área (MORAES, et al., 2014; CARVALHO, et al., 2018), simultaneamente ou em rotação ou sucessão. Estão em ascensão por diversificar (TERNOSKI; PERONDI, 2014) e intensificar a produção (FAO, 2015), substituir pousio invernal (DENARDIN et al., 2001), conservar (ALBUQUERQUE et al., 2002; CARDOSO et al., 2012), e melhorar a qualidade do solo (HEBB et al., 2017).

A inclusão do pastejo animal nos sistemas contribui no processo de desacoplagem do carbono e nitrogênio presentes na forragem, com liberação via gases, esterco ou urina, alterando suas relações estequiométricas (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014). Além disso, a ingestão de forragem pelos animais estimula o crescimento das plantas pastejadas, influenciando na ciclagem e na distribuição dos nutrientes no solo, via desfolha das plantas, com maior extração e reciclagem dos nutrientes com o seu retorno ao solo pelas excreções (WHITEHEAD, 2000; NASCIMENTO JR.; CAVALCANTE, 2001; SANTOS, 2003).

Os animais sob pastejo interferem significativamente alterando a distribuição e a eficiência do aproveitamento de nutrientes reciclados, porém, seu êxito depende basicamente de duas estratégias fundamentais de manejo: da altura de manejo do pasto, por meio de ajustes da intensidade de pastejo, e da adubação da pastagem, com particular atenção ao N (ASSMANN; PIN, 2008).

O correto ajuste da carga animal é importante para obtenção de alto rendimento e qualidade do pasto, bem como melhoria da qualidade do solo e redução de compactação imposta pelo pisoteio (BALBINOT JR. et al., 2009).

Pastagens anuais de inverno, conduzidas entre 15-20 até 30 cm de altura, têm se mostrado como a melhor opção de manejo assegurando elevado desempenho individual dos animais, elevada cobertura do solo, inexistência de compactação, e elevado acúmulo de C, pois a produção de forragem é maior (MARTINS, et al., 2015). A cada um cm de altura das misturas de aveia e azevém tem correspondido, aproximadamente, 90 kg de MS ha⁻¹ (BARROS, 2016). Logo, em intensidade moderada de pastejo os animais favorecem a ciclagem de N e o ganho em produtividade, levando ao sequestro de C no solo. No entanto, pastagens de inverno manejadas com taxas de lotação mais intensas e que, por consequência, tenham alturas menores a 10 cm, estão sujeitas à compactação superficial e podem acarretar impacto negativo na cultura de sucessão (MARTINS, et al., 2015).

Em sistemas integrados, a nutrição nitrogenada tem o potencial de aumentar a produção de forragem por unidade de área (MARTUSCELLO; FARIA; FONSECA, 2009; PELLEGRINI et al., 2010; MOREIRA et al., 2014) com efeitos diretos e indiretos sobre a produtividade animal (LUPATINI et al., 2013). Além disso melhoram a performance das culturas em sucessão, devido ao aproveitamento de N residual (ASSMANN et al., 2003), além do fato das gramíneas apresentarem resultados positivos à adição crescente de N aplicados ao solo (HERINGER; MOOJEN, 2002).

Apesar da alta relevância global dos SIPA, são poucas as pesquisas referentes ao diagnóstico de nutrição nitrogenada no estabelecimento das pastagens (anuais ou perenes), após os cultivos anuais de verão, com diferentes doses de adubação nitrogenada e em diferentes intensidades de pastejo. O N é a força motriz para melhor rendimento dos ecossistemas agrícolas e fator limitante quando mal manejado, com potencial em gerar altas perdas econômicas ao produtor e provocar danos ambientais, como por exemplo a liberação do óxido nitroso, o qual tem alta relevância nos gases de efeito estufa. Dessa forma, o diagnóstico da nutrição nitrogenada no estabelecimento da pastagem faz-se necessário para garantir bons índices produtivos no contexto SIPA.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio de pastos mistos de aveia preta e azevém anual em SIPA com lavoura soja utilizando como ferramenta de diagnóstico o índice de nutrição nitrogenada (INN) durante a fase de estabelecimento da pastagem.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Local, clima e histórico experimental

Este trabalho é parte de um protocolo experimental de longo prazo, iniciado em 2001 na Fazenda Espinilho (latitude 28°56'14.00" S, "longitude 54° 20' 45.61" O), localizada no município de São Miguel das Missões, RS, na região subtropical do Brasil. O clima da região apresenta verão quente e úmido, sendo descrito como Cfa de acordo com Köppen (KOTTEK et al., 2006), com temperatura média anual de 19°C e precipitação média anual de 1850 mm (INMET, 2018).

O modelo experimental é um sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) que alterna as culturas de soja e pastagem sob semeadura direta. As parcelas são semeadas com soja em meados de novembro e com a mistura de azevém anual e aveia-preta em meados de abril-maio. O efeito do componente animal na lavoura de soja fundamentou a hipótese inicial do experimento, delineado para avaliar o efeito de diferentes alturas de manejo do pasto (10, 20, 30 e 40 cm), além de uma área sem pastejo (SP) usada como controle.

As alturas do pasto são monitoradas periodicamente fazendo-se leituras em 100 pontos aleatórios, por unidade experimental, com o uso do bastão graduado "*sward stick*", conforme a técnica de Barthram (1981). O método de pastoreio contínuo foi utilizado com carga animal variável. A carga variável foi ajustada com base na metodologia proposta por Mott e Lucas (1952) (método "*put and take*") durante as fases experimentais de pastejo. A carga animal, em cada unidade experimental, era composta por número mínimo de três novilhos de corte ("tester") e número variável de novilhos reguladores, no intuito de manter a altura do pasto próxima da meta pré-estabelecida.

Foram selecionados novilhos castrados cruzados (raças Angus, Hereford e Nelore) com idade média de 12 meses e peso vivo médio inicial de 235,7 ± 23,8 kg (ano I), 218,65 ± 29 kg (ano II) e 209 ± 21,12 kg (ano III). Os animais foram submetidos ao pastejo nas parcelas no ano I e II em 09/06, e no ano III em 26/07 e foram removidos em 01/11, 30/10 e 03/11 totalizando 145, 143 e 100 dias de pastejo, respectivamente.

Para fins deste estudo foram avaliadas as pastagens dos ciclos de rotação dos anos 2014, 2015 e 2016, pastagens essas que foram semeadas em 17/04/2014,

23/04/2015 e 24/05/2016, respectivamente (Figura 2). As pastagens foram submetidas a diferentes intensidades de pastejo até sua dessecação em novembro, para a semeadura da soja.

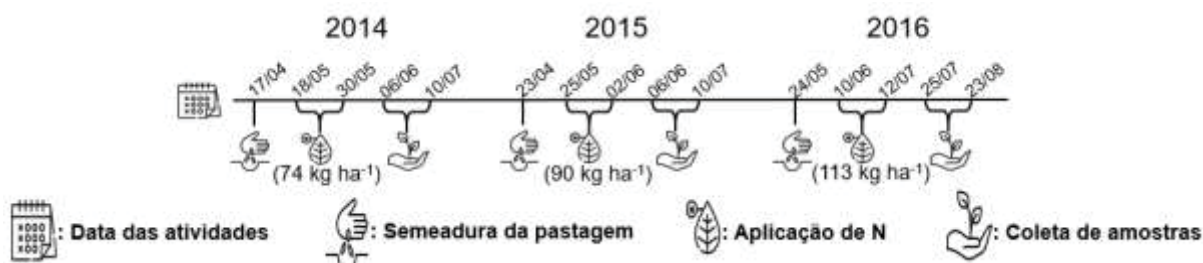


Figura 2 - Linha do tempo das atividades realizadas durante a fase pastagem dos ciclos de rotação dos anos 2014, 2015 e 2016

4.2.2 Características do solo

A área experimental compreende 22 hectares, com declividade entre 0,02-0,10 mm⁻¹. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférrico (CLAESSEN et al., 1997), com granulometria de 540 g kg⁻¹ de argila, 270 g kg⁻¹ de silte e 190 g kg⁻¹ de areia, bem drenado, profundo e com coloração vermelho-escura. Em dezembro de 2015 foi realizada coleta de solo na camada de 0-10 cm que apresentou a seguinte caracterização: pH-H₂O = 4,57, P-Mehlich 1 = 5,65 mg dm⁻³, K-Mehlich 1 = 148 mg dm⁻³, Al³⁺ trocável (KCl 1mol L⁻¹) = 1,4 cmolc dm⁻³ e concentração de matéria orgânica do solo = 38 g kg⁻¹.

4.2.3 Tratamentos experimentais

Com o intuito de avaliar o índice nutricional nitrogenado (INN) do pasto no contexto de um sistema de produção integrado que alterna cultivos de soja e pastos de inverno gerou-se uma escala crescente de aportes anuais de N. Os tratamentos foram representados por diferentes doses de nitrogênio, a saber: 74 kg de N ha⁻¹ para o ano I, 90 kg de N ha⁻¹ para o ano II e 113 kg de N ha⁻¹ para o ano III, parceladas em duas aplicações de igual quantidade aos 30 e 45 dias após a semeadura das gramíneas (Figura 2). A fonte de N foi a uréia (45% de N).

4.2.4 Adubações complementares

Adubação similar foi aplicada em todos os tratamentos em 2014 (ano I) e 2016 (ano III), sendo constituída por 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 kg ha⁻¹ K₂O. Exceção ocorreu em 2015 (ano II), quando não foi realizada qualquer adubação fosfatada ou potássica.

4.2.5 Amostragens

Foram realizadas duas coletas para massa de forragem (MF), expressa em kg de MS ha⁻¹. A primeira coleta, foi realizada em 06/06 no ano I e II, e em 25/07 no ano III, poucos dias antes dos animais serem alocados nas pastagens experimentais (Figura 2). A MF foi colhida procedendo-se cinco cortes próximos ao solo por unidade experimental (UE), em área delimitada por moldura metálica de 50 × 50 cm (0,25 m²) em locais aleatórios que representassem a altura média da UE. A segunda coleta foi realizada em 10/07 (anos I e II) e em 23/08 (ano III), momento em que os animais já se encontravam em pastejo, coletando três amostras dentro das gaiolas de exclusão ao pastejo, por UE (Figura 2).

4.2.6 Análises laboratoriais

Para análise da concentração de nitrogênio na planta (CNP, g de N kg de MS⁻¹), que demonstra o *status* de N do pasto, foram utilizadas amostras de MF coletadas nas avaliações realizadas em 06/06 e 10/07 (anos I e II) e 25/07 e 23/08 (ano III). Essas amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante e pesadas. Posteriormente, as amostras foram moídas para determinação da CNP por combustão seca em aparelho analisador elementar FLASH 2000 HT.

A percentagem de nitrogênio crítico (%Ncr) foi determinada de acordo com o modelo proposto por Lemaire, Jeuffroy e Gastal (2008) para espécies de gramíneas com rota metabólica C3 (%Ncr = 4,8 (MS)^{-0,32}), e foi utilizada para estimar a curva de diluição do N em função da MF a partir de 1,0 t ha⁻¹. O INN foi obtido pela razão Na e %Ncr, onde Na é a CNP, expressa em percentagem de N em relação a MF, e

%Ncr é a percentagem de N predita pela curva crítica para biomassa idêntica (DURU; DUCROQ, 1996).

Segundo Lemaire, Jeuffroy e Gastal (2008), valores de INN próximos a 1,0 indicam que não há limitação de nitrogênio; valores $> 1,0$ são considerados excedentes, ou seja, caracterizam a ocorrência de consumo de “luxo” de N pela planta, e, estando bem nutrida, armazena e acumula nos tecidos o N não utilizado para o desenvolvimento e produção de MS e valores $< 1,0$ indicam deficiência de N. A intensidade da deficiência pode ser estimada pelo valor de INN: valor de 0,5 indica que o nitrogênio disponível na planta representa 50% do nível crítico para cultura. O cálculo do N absorvido pela pastagem foi feito por meio da multiplicação da MF pelo teor de N analisado na forragem correspondente a cada período e tratamento (LEMAIRE; GASTAL, 1997)

4.2.7 Análise estatística

O delineamento utilizado foi em blocos completos ao acaso, com três repetições. Análises de covariância foram realizadas utilizando as alturas de manejo do pasto como covariável. A análise estatística foi realizada com auxílio do programa estatístico SAS versão 9.4. Os dados foram submetidos à análise de covariância (ANCOVA) por meio do PROC GLM, testando as doses como tratamento e utilizando as diferentes alturas de manejo do pasto como covariável. Quando detectadas diferenças significativas entre tratamentos, o teste de Tukey foi utilizado para comparar as médias a 5% de probabilidade.

4.3 RESULTADOS

Os dados de precipitação pluviométrica e da temperatura média do ar durante os períodos experimentais são apresentados na Figura 3. O crescimento da aveia preta e do azevém anual tiveram condições variáveis de temperatura e precipitação, estando dentro da normalidade histórica do experimento e não diferiu entre os anos avaliados. Na semeadura em abril, para os anos I e II, as precipitações atingiram volumes em torno de 140 mm, ao passo que para o ano III, a pastagem foi semeada em maio e o volume de chuvas foi de 101 mm. Na primeira coleta de amostra de massa de forragem (MF), em meados de junho para os anos I

e II, os volumes pluviométricos foram de 324 e 386 mm, respectivamente, e 74 mm para o ano III, sendo a primeira coleta realizada em julho. Para a segunda coleta foi observado um volume total de 294 mm e 177 mm para os anos consecutivos I e II (em julho), e de 107 mm para o ano III (em agosto).

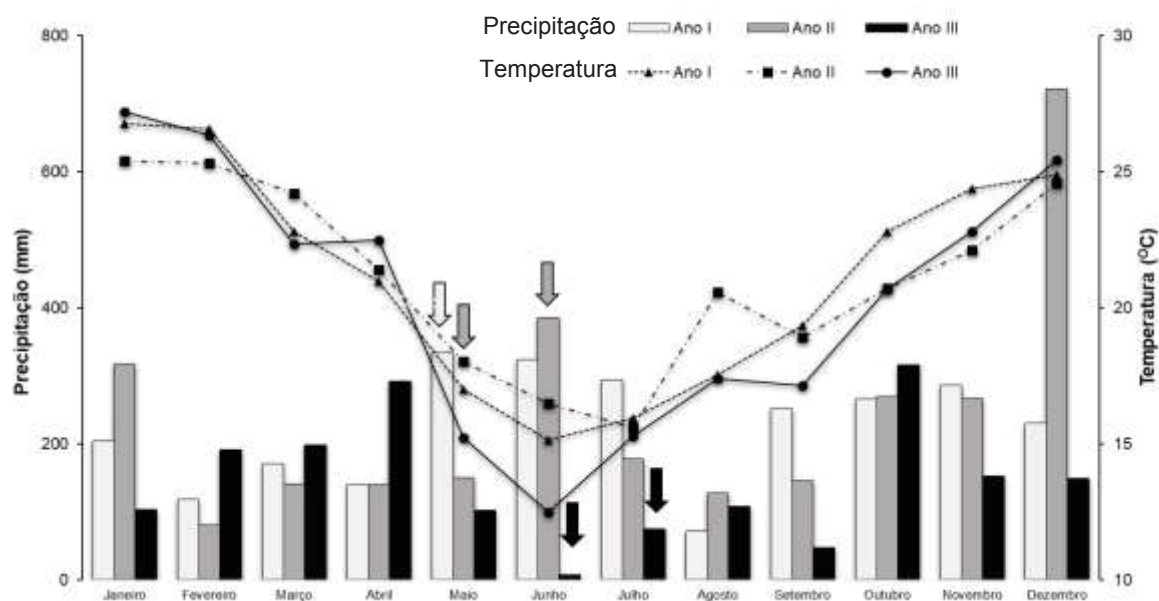


Figura 3 - Precipitação mensal (mm) e temperatura média do ar (°C) do experimento no ano I, II e III. Setas indicam a aplicação de nitrogênio (Ano I: aplicação doses em 18/05 e 30/05/14 – 37 kg de N ha⁻¹; Ano II: aplicação de doses em 25/05 e 02/06/15 – 45 kg de N ha⁻¹; Ano III: aplicação de doses em 10/06 e 12/07/16 – 56,5 kg de N ha⁻¹).

Após a primeira aplicação de N, realizada 30 dias após a semeadura, foram observados para os anos I, II e III, valores de precipitação de 334; 150 e 7 mm, respectivamente. No período após a segunda aplicação de N, realizada 45 dias após a semeadura, foram observadas precipitações de 360; 360 e 74 mm para os anos I, II e III, respectivamente. A temperatura (Figura 3) manteve-se próxima das médias observadas ao longo dos anos no estado do Rio Grande do Sul. Nas quinzenas finais dos meses de abril, e na quinzena inicial do mês de maio nos anos I e II, contataram-se médias de temperaturas do ar em torno de 20°C e 17°C, ao passo que no ano III, as médias de temperaturas no mês de junho foram de 12,5°C.

Foram observadas diferenças entre as doses de nitrogênio para massa de forragem (MF), concentração de nitrogênio na planta (CNP), N absorvido pela planta (Nabsorv) e índice de nutrição nitrogenada (INN) (Tabela 1; P<0,05).

Tabela 1 - Efeito das doses de nitrogênio em pastos mistos de aveia e azevém em sistema integrado de produção agropecuária

Variáveis	MF ⁽¹⁾	CNP ⁽²⁾	Nabsorv ⁽³⁾	INN ⁽⁴⁾
	kg MS ha ⁻¹	g de N kg de MS ⁻¹	kg de N ha ⁻¹	
Tratamentos				
74 kg N ha⁻¹	2036b	3,17b	62,27b	0,81b
90 kg N ha⁻¹	1991b	3,28b	59,52b	0,81b
113 kg N ha⁻¹	3069a	3,75a	102,40a	1,05a
Pr > F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

⁽¹⁾Massa de forragem, kg MS ha⁻¹; ⁽²⁾Concentração de nitrogênio na planta, g N por kg MS⁻¹; ⁽³⁾N absorvido pela planta, kg de N ha⁻¹ e ⁽⁴⁾Índice de nutrição nitrogenada, absoluto. Médias seguidas pelas letras minúsculas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

A maior MF foi observada na dose de 113 kg de N ha⁻¹, sendo 34,4% maior do que as doses de 74 e 94 kg de N ha⁻¹. Foi observada maior CNP na maior dose de N, gerando efeito cascata no resultado de N absorvido e INN > 1.

Houve declínio no percentual de N com o aumento na MF durante o período de estabelecimento do pasto, em todas as doses de N (Figura 4). Na dose de 74 kg de N ha⁻¹, todos os pontos se encontraram abaixo da curva de diluição. Foram observadas concentrações de pontos muito próximos à curva de diluição quando a MF era menor, na dose de 90 kg de N ha⁻¹. À medida em que as amostras apresentavam maior MF, os teores de N deste tratamento se afastam da curva. Para a dose de 113 kg de N ha⁻¹, quase todos os valores se encontraram acima da curva de diluição do N.

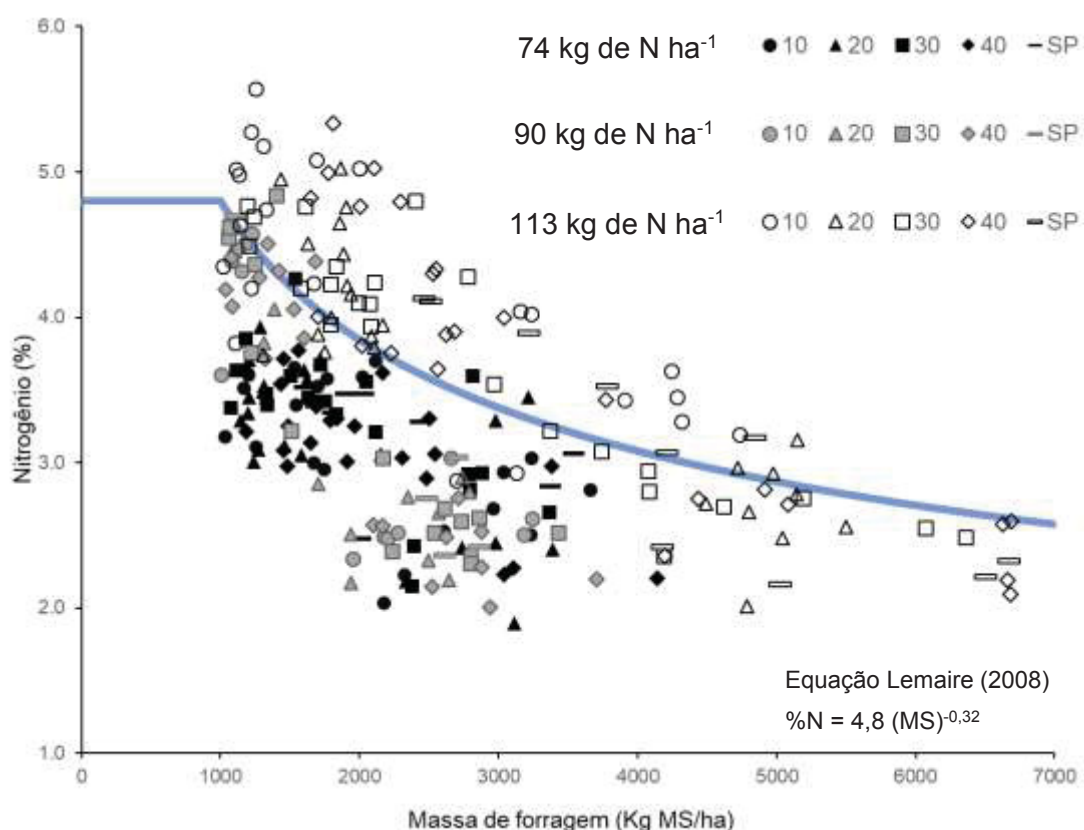


Figura 4 - Curva de diluição de nitrogênio em função do acúmulo de biomassa de pastos mistos de aveia e azevém em relação a diferentes níveis de nitrogênio aplicado na fase pastagem em um sistema integrado de produção agropecuária

4.4 DISCUSSÃO

Baixos teores de umidade do solo podem reduzir a disponibilidade, e consequentemente a absorção, de N pelas culturas (SADRAS; LEMAIRE, 2014; KUNRATH et al., 2018). Considerando os controles de precipitação no período experimental, não parece ser esse o caso. Os volumes de precipitação foram adequados durante o estabelecimento do pasto, indicando não haver limitação à utilização do N aplicado. De acordo com Pegoraro et al. (2011), grande parte do N inorgânico se concentra nas camadas superficiais e, em períodos chuvosos, podem propiciar a interação do N mineral com a água reduzindo, ou evitando, perdas.

As médias de temperatura também se mantiveram dentro do exigido pela cultura. Mesmo com ocorrência de médias inferiores no ano III, de 12,5°C, gramíneas de estação fria somente paralisam seu crescimento em temperaturas

próximas de 6°C (HOPKINS, 2000). Portanto, a temperatura média foi favorável para o crescimento inicial da aveia e do azevém durante a fase de estabelecimento.

A maior MF observada para a dose de 113 kg de N ha⁻¹ pode ser decorrente de pools de N temporariamente disponíveis no solo e pela maior quantidade de N mineralizado (N absorvido) pelas plantas. Doses maiores de N propiciam maior produção de forragem por incrementos no tamanho da folha que ocorrem tanto com plantas individuais, como em comunidade (WILKINS; ALLEN; MYTTON, 2000). De acordo com Pedreira, Mello e Otani (2001), a nutrição mineral é um dos fatores que afetam o perfilhamento, que por sua vez afeta a produção de forragem tal como se observou na maior dose de N.

O aumento da massa de forragem ao longo do tempo com maior quantidade de tecidos estruturais (baixa concentração de N), e menor quantidade de tecidos metabólicos (alta concentração de N), está relacionado ao processo de diluição do N, como consequência do declínio ontogenético da área foliar da planta à medida que sua massa se torna maior (LEMAIRE; JEUFFROY; GASTAL, 2008). No entanto, foi observado uma maior CNP (3,75 g de N kg de MS⁻¹) para a maior MF (3069 kg MS ha⁻¹, Tabela 1), que pode ser explicado pelo consumo de luxo observado na biomassa aérea das plantas forrageiras (Figura 4).

Em termos de magnitude a variação da CNP foi pequena entre as doses de N, mas os procedimentos de amostragem e de análise foram precisos e permitiram o êxito da análise estatística em detectar diferenças. Os dados de CNP, que variaram de 3,17 a 3,75 g de N kg de MS⁻¹, estão dentro da faixa reportada na literatura para ambas as espécies de aveia preta e azevém anual, variando de 1,25 (0 N) a 3,79 (250 kg N ha⁻¹) g de N kg de MS⁻¹ (MARINO et al., 2004) e dos obtidos com outras espécies de gramíneas de estação fria (MAZZANTI; WADE; GARCÍA, 1997; DI SALVO; LATANZI; ECHEVERRÍA, 1999; ERRECART et al., 2012; ERRECART et al., 2014). Porém, o maior valor encontrado para a CNP (3,75 g de N kg de MS⁻¹) na maior dose de N aplicada

Para as doses de 74 e 90 kg de N ha⁻¹ os valores de INN foram abaixo da curva crítica proposta por Lemaire e Gastal (1997). Os valores de INN para as duas doses foram de 0,81, o que representa 80% do nível crítico para cultura, significando fornecimento e absorção de N inadequada pelas plantas que afetou o acúmulo de biomassa no estabelecimento da pastagem, limitado pela deficiência de N.

No caso de um sistema integrado, pastos que se estabelecem em situação sub-ótima de crescimento afetam toda a dinâmica e produtividade do sistema. São pastos que irão demorar mais para iniciar o pastejo, considerando-se uma mesma meta de estrutura de pasto a ser atingida (e.g., iniciar o pastejo somente quando o pasto alcançar 25 cm). Além disso, se ao longo do estabelecimento esses pastos estão com seu potencial de crescimento limitado, depois da entrada dos animais provavelmente continuarão com crescimento abaixo do potencial, afetando a capacidade de suporte do pasto, e os ganhos por hectare em particular.

A maior concentração de N absorvido pelas plantas forrageiras foi de 102,4 kg de N ha⁻¹ (dose 113 kg de N ha⁻¹), que pode ser explicada pelo aumento da adição de N do solo, aumentando a disponibilidade do nutriente no sistema solo-planta (HERINGER; MOOJEN, 2002). De acordo com Lemaire e Chapman (1996), a maior absorção de N pelos pastos permite o estabelecimento de maior índice de área foliar (IAF), maior taxa fotossintética, e consequentemente maior produção de forragem. Na maior dose de N aplicada o pasto passou a apresentar INN adequado, de acordo com as pressuposições de Lemaire e Gastal (1997).

Sabendo que, quando teores de N estão sobre a curva de diluição, a planta está nutricionalmente suprida em termos de N, caracterizando pastos que não estão limitados quanto ao mais importante nutriente para o crescimento, além de maior qualidade da forragem e de acúmulo de reservas (LEMAIRE; GASTAL; SALETTE, 1989). No contexto de aplicação do diagnóstico nutricional, são pastos que não necessitam de maior aporte de adubação nitrogenada.

Sistemas integrados com rotações soja-pastagens se caracterizam por resíduos de baixa relação C:N, quando comparado a sistemas onde o componente lavoura é o milho. Assmann et al. (2015), estudaram a ciclagem de N em sistemas integrados com rotações soja-pastagem e observaram que a soja deixa através do resíduo de sua biomassa aérea uma quantidade de N residual em média de 46 kg ha⁻¹, que são liberados de forma gradual ao longo do ciclo pastagem que virá em sucessão, porém não foi quantificado o balanço do N em todo o sistema.

A ciclagem do N da soja para a pastagem é importante em um SIPA, pois parte do N que circula no sistema advém do processo de fixação simbiótica da soja (PAUL; CLARK, 1996). Entretanto, as perdas de N via exportação pelo grão são, em média, de 57 kg de N para cada tonelada de grão de soja produzida (BATAGLIA;

MASCARENHAS, 1977; BORKERT, 1986; FARIÑA; DARWICH, 1993; TANAKA; MASCARENHAS; BORKERT, 1993).

A despeito do N aportado pela soja, foi observado, de forma contundente, a necessidade de adubação nitrogenada na fase pastagem das rotações. A quantidade de N liberada pelos resíduos de soja não é suficiente para o pasto atingir os níveis ótimos de nutrição nitrogenada e alcançar altas produções.

Pastos mistos de aveia e azevém demandam mais de 200 kg N ha⁻¹ para produção de 7,0 Mg MS ha⁻¹ em SIPA (ASSMANN et al., 2004). Mesmo, que o aporte da soja não seja suficiente para atender a demanda do N no sistema, ela é muito importante para o pool de N circulante no sistema, com implicações na atividade biológica do solo, permitindo o sequestro de gases de efeito estufa e diminuindo a demanda de fertilizantes, o que ajuda o SIPA a alcançar o equilíbrio em condições de longo prazo.

A igualdade observada entre os rendimentos de soja durante os três anos avaliados (média de 3500 kg ha⁻¹ -dados não apresentados-) e que o ano III atingiu produção primária da ordem de 6,7 Mg MS ha⁻¹ de produção de forragem, a adubação com 113 kg N ha⁻¹ somada ao N residual resultante da fase lavoura (média de 46 kg ha⁻¹) foi 20% inferior ao recomendado, sem afetar o rendimento total do sistema (fase lavoura e pastagem).

De acordo com Lemaire, Jeuffoy e Gastal (2008), o novo paradigma da fertilização nitrogenada é trocar a lógica produtivista de aplicar altas quantidades de N para atender todo o potencial de demanda da cultura, pela lógica da intensificação sustentável. Isso significa determinar a demanda de N em função de metas de produtividade, estimar a dinâmica de fornecimento de N nos diferentes compartimentos do sistema e determinar a quantidade mais correta de N, em quantidade e no tempo exato, de acordo com a necessidade da cultura.

O fornecimento de N no início do desenvolvimento da pastagem é fundamental para que a planta acumule reservas e consiga formar IAF adequado para otimizar o processo fotossintético e potencializar seu crescimento. Caso a planta passe por períodos de deficiência nutricional, já no início do desenvolvimento, o rebrote após o pastejo será dificultado, o que irá prejudicar a produção de forragem e consequentemente a produção animal.

Nesse sentido, abdicar da adubação das pastagens no inverno, em virtude da crença de que a pastagem irá se beneficiar da adubação realizada na cultura de

grãos no SIPA, pode gerar consequências de menor produção de biomassa das pastagens, menor ciclagem de nutrientes, menor aporte de C no solo, menor cobertura pela vegetação, resultando em um processo de degradação e menor produtividade do sistema.

Toda a dinâmica dos nutrientes em SIPA difere dos demais sistemas de produção, principalmente por manter a ciclagem constante e mais eficiente, por meio da retroalimentação pelo componente animal, o que vai interferir na diminuição das entradas, e o sistema como um todo será favorecido.

4.5 CONCLUSÕES

Em SIPA, com pasto pós soja, a quantidade de nitrogênio aplicada na fase pastagem foi 20% inferior. No entanto, apenas com o aporte de nitrogênio da lavoura, não é suficiente para atender a necessidade de nitrogênio do sistema.

As doses de 70 e 94 kg ha⁻¹ de nitrogênio não são suficientes em atender as demandas de nitrogênio de pastos mistos de aveia preta e azevém anual, a despeito de sucederem uma lavoura de soja. Somente com adubações nitrogenadas na ordem de 113 kg N ha⁻¹ atingiu o nível crítico suficiente para que o pasto pudesse expressar seu potencial produtivo durante a fase de estabelecimento.

4.6 REFERÊNCIAS

ACOSTA, J. A. de A. **Dinâmica do nitrogênio sob sistema plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada no milho**. 200 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Setor em Biodinâmica e Manejo do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

ALBUQUERQUE, A. W. et al. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 136–141, 2002.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, p. 325–380, 2013.

ASSMANN, A. L. et al. Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca

em sistemas de integração lavoura: pecuária em presença e ausência de trevo branco e nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 37–44, 2004.

ASSMANN, A. L.; PIN, E. A. Manejo de biomassa. In: Soares, A. B.; Assmann, T. S.; Assmann, A. L. **Integração lavoura-pecuária para a agricultura familiar**. Londrina: Iapar, p. 11–14, 2008.

ASSMANN, J. M. et al. Carbon and nitrogen cycling in an integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 10, p. 967–978, 2015.

ASSMANN, T. S. et al. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 675–683, 2003.

BAGGIO, C. et al. Padrões de uso do tempo por novilhos em pastagem consorciada de azevém anual e aveia-preta. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 37, n. 11, p. 1912–1918, 2008.

BALASKO, J. A.; EVERS, G. W.; DUELL, R. W. Bluegrasses, ryegrasses and bentgrasses. In: Barnes, R. F.; Miller, D. A.; Nelson, C. J., (Eds.). **Forages: an introduction to grassland agriculture**. 5. ed. p. 357–372, 1995.

BALBINOT JR., A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1925–1934, 2009.

BARROS, T. **Pastos hibernais e pastejo animal como forma de inserir diversidade e sustentabilidade ao ambiente de terras baixas do sul do Brasil**. 98 f. Tese (Doutorado em Zootecnia). – Setor de Plantas Forrageiras, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

BARTHAM, G. T. Sward structure and the depth of the grazed horizon. **Grass and Forage Science**, v. 36, p. 130–131, 1981.

BATAGLIA, O. C.; MASCARENHAS, H. A. A. **Absorção de nutrientes pela soja**. Campinas: Instituto Agronômico / Boletim Técnico, 41, 36 p., 1977.

BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, v. 111, p. 1–12, 2012.

BONAUDO, T. et al. Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 43–51, 2014.

BORKERT, C. M. **Extração de nutrientes pela soja**. In: Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, 14. Chapecó: EMPASC-CPPP/EMBRAPA-CNPSO, p. 164–165, 1986.

CAMPBELL, A. G. Grazed pasture parameters. I. Pasture dry-matter production and availability in a stocking rate and grazing management experiment with dairy cows. **The Journal of Agricultural Science**, v. 67, n. 2, p. 199–210, 1966.

CANTARUTTI, R. B.; NASCIMENTO JR, D.; COSTA, O. V. Impacto animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: Mattos, W. R. S., (Ed.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. São Paulo: FEALQ, p. 826–837, 2001.

CARDOSO, D. P. et al. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, p. 632–638, 2012.

CARVALHO, P. C. F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, n. 2, p. 259–273, 2010.

CARVALHO, P. C. F. et al. **Integrating the pastoral component in agricultural systems**. Revista Brasileira de Zootecnia, p. 47:e20170001, 2018. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v47/1806-9290-rbz-rbz4720170001.pdf>>. Acesso em 02 dez. 2018.

CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. ver. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS / Documentos, 1, 212 p., 1997.

COSTA, C. et al. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of plant nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1173–1194, 2001.

DAWSON, J. C.; HUGGINS, D. R.; JONES, S. S. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. **Field Crops Research**, v. 107, n. 2, p. 89–101, 2008.

DE SOUZA FILHO, W. et al. Mitigation of enteric methane emissions through

pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 968–975, 2019.

DENARDIN, J. E. et al. **Evolução da área cultivada sob sistema plantio direto no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo / Documentos, 29, 32 p., 2001.

DI SALVO, M.; LATANZI, F. A.; ECHEVERRÍA, H. E. Relación entre el índice de verdor y la concentración de nitrógeno en *Festuca arundinacea* Schreb. **Revista de Producción Animal**, v. 19, p. 291–299, 1999.

DUBAL MARTINS, J.; RESTLE, J.; LEAL BARRETO, I. Produção animal em capim papuã (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc) submetido a níveis de nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 30, n. 5, 2000.

DURU, M.; DUCROCQ, H. A nitrogen and phosphorus herbage nutrient index as a tool for assessing the effect of N and P supply on the dry matter yield of permanent pastures. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 47, n. 1, p. 59–69, 1996.

ENTZ, M. H. et al. Evolution of integrated crop-livestock production systems. In: *Grassland a Global Resource. XX International Grassland Congress*. Anais... Dublin, Ireland (Ed. da McGilloway), 2005.

ERRECART, P. M. et al. Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status. **Field Crops Research**, v. 129, p. 46–58, 2012.

ERRECART, P. M. et al. Critical nitrogen concentration declines with soil water availability in tall fescue. **Crop Science**, v. 54, n. 1, p. 318–330, 2014.

FARIÑA, J. R.; N. A. DARWICH. Fertilización fosfatada en el cultivo de soja. **III Curso Internacional de Ecofisiología de Soja**. EEA INTA Oliveros, Santa Fe, 1993.

FARRUGGIA, A.; GASTAL, F.; SCHOLEFIELD, D. Assessment of the nitrogen status of grassland. **Grass and Forage Science**, v. 59, n. 2, p. 113–120, 2004.

FAO. Sete Lagoas consensus on integrated crop–livestock systems for

sustainable development. In: An International Consultation on Integrated Crop–Livestock Systems for Development. **The Way Forward for Sustainable Production Intensification**, v. 13, 64 p., 2010.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Integrated crop livestock systems for development – sustainable production intensification**. Roma, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/iclisd/en/>>. Acessado em: 05 dez 2018.

FRANZLUEBBERS, A. J. Integrated crop–livestock systems in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 361–372, 2007.

GARRETT, R. D. et al. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, v. 155, n. May, p. 136–146, 2017.

GISLUM, R. et al. Temporal variation in nitrogen concentration of above ground perennial ryegrass applied different nitrogen fertiliser rates. **Field crops research**, v. 91, n. 1, p. 83–90, 2005.

GISLUM, R.; BOELT, B. Validity of accessible critical nitrogen dilution curves in perennial ryegrass for seed production. **Field crops research**, v. 111, n. 1–2, p. 152–156, 2009.

GUO, J. H. et al. Significant acidification in major Chinese croplands. **Science**, v. 327, n. 5968, p. 1008–1010, 2010.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. In: **Advances in agronomy**. Elsevier, v. 49, p. 119–199, 1993.

HEBB, C. et al. Soil physical quality varies among contrasting land uses in Northern Prairie regions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 240, p. 14–23, 2017.

HERINGER, I.; MOOJEN, E. L. Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milheto submetida a diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 875–882, 2002.

HOPKINS, A. **Grass: its production and utilization**: British Grassland

Society., 2000.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 01 dez. 2018.

KLINGMAN, D. L.; MILES, S. R.; MOTT, G. O. The cage method for determining consumption and yield of pasture herbage. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 35, p. 739–746, 1943.

KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

KUNRATH, T. R. et al. How much do sod-based rotations reduce nitrate leaching in a cereal cropping system? **Agricultural Water Management**, v. 150, p. 46–56, 2015.

KUNRATH, T. R.; LEMAIRE, G.; SADRAS, V. O.; GASTAL, F. Water use efficiency in perennial forage species: Interactions between nitrogen nutrition and water deficit. **Field Crops Research**, p.1-11, 2018.

LEMAIRE, G. et al. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I.--Etude de l'effet du milieu. **Agronomie**, v. 4, n. 5, p. 423–430, 1984. a.

LEMAIRE, G. et al. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. II.-Etude de la variabilité entre génotypes. **Agronomie**, v. 4, n. 5, p. 431–436, 1984. b.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; SALETTE, J. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. XVI International Grassland Congress. Anais... França, Nice, p. 179–180, 1989.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J.; Illius, A. W., (Eds). **The ecology and management of grazing systems**. London: CAB International, p. 3–36, 1996.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Springer, p. 3–43, 1997.

LEMAIRE, G.; JEUFFROY, M.-H.; GASTAL, F. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management.

European Journal of agronomy, v. 28, n. 4, p. 614–624, 2008.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 4–8, 2014.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. Crop responses to nitrogen. **Encyclopedia of sustainability science and technology**, p. 1–27, 2018.

LÚCIA, L. G. de P. A. et al. Produção de cordeiros em pastejo contínuo de azevém anual submetido à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, 2010.

LUPATINI, G. C. et al. Produção de bovinos de corte em pastagem de aveia preta e azevém submetida à adubação nitrogenada. **Ciência animal brasileira**, p. 164–171, 2013.

MAMAN, N. et al. Hybrid and nitrogen influence on pearl millet production in Nebraska: yield, growth, and nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 5, p. 737–743, 1999.

MARINO, M. A. et al. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter–spring growth of annual ryegrass. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 3, p. 601–607, 2004.

MARTINS, A. P. et al. **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. 2. ed. Porto Alegre: Boletim Técnico UFRGS, 102 p., 2015.

MARTUSCELLO, J. A.; FARIA, D. J. G.; FONSECA, D. M. Adubação nitrogenada e partição de massa em plantas de *Brachiaria brizantha* cv. xaraés e *Panicum maximum* x *Panicum infestum* cv. massai Nitrogen fertilization and dry matter partition in xaraes grass and massai grass. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 3, p. 663–667, 2009.

MAZZANTI, A.; WADE, M. H.; GARCÍA, S. C. Efecto de la fertilización nitrogenada en invierno sobre el crecimiento y la composición química del forraje de raigras anual. **Revista argentina de producción animal**, v. 17, n. 1, p. 25–32, 1997.

MCNAUGHTON, S. J. Ecology of a grazing ecosystem: the Serengeti. **Ecological monographs**, v. 55, n. 3, p. 259–294, 1985.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation

of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization 1. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 3, p. 562–564, 1982.

MORAES, A. et al. Integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **I Encontro de integração lavoura-pecuária do sul do Brasil**. Pato Branco, v. 1, p. 3–42, 2002.

MORAES, A. et al. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5 (especial), p. 1024–1031, 2014.

MOREIRA, A. L. et al. Production of sheep grazing on nitrogen-fertilized tifton 85 grass in continuous stocking. **Acta Scientiarum**, v. 36, n. 1, p. 63–69, 2014.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: **International Grassland Congress**. Pennsylvania, p. 1380–1395, 1952.

MUHAMMAD, W. et al. Crop residues and fertilizer nitrogen influence residue decomposition and nitrous oxide emission from a Vertisol. **Biology and Fertility of Soils**, v. 47, n. 1, p. 15–23, 2011.

MYERS, R. J. K. et al. Tissue concentration of nitrogen and phosphorus in grain sorghum. **Field Crops Research**, v. 17, n. 3–4, p. 289–303, 1987.

NASCIMENTO JR., D.; CAVALCANTE, M. A. B. **Reciclagem de excreções animais na pastagem**, 2001. Disponível em: <<http://www.forragicultura.com.br/vermat.asp?codmat=39>>. Acesso em 10 jan. 2019.

NETO, A. B. et al. Italian ryegrass establishment by self-seeding in integrated crop–livestock systems: Effects of grazing management and crop rotation strategies. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 77–83, 2014.

NETO, A. F. G. et al. Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 5, p. 1890–1900, 2002.

PADOVAN, M. P. et al. Decomposition and nutrient release from soybean cut at different growth stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 667–672, 2006.

PARSONS, A. J.; CHAPMAN, D. F. The principles of pasture growth and utilization. In: Hopkins, A. (Ed.). **Grass: its production and utilization**. Oxford:

Blackwell Science, p. 31–89, 2000.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 2. ed. p. 340, 1996.

PEDREIRA, C. G. S.; MELLO, A. C. L.; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 772–807, 2001.

PEGORARO, R. F. et al. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em Argissolo sob eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 261–273, 2011.

PELLEGRINI, L. G. et al. Produção de cordeiros em pastejo contínuo de azevém anual submetido à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1399–1404, 2010.

SADRAS, V. O.; LEMAIRE, G. Quantifying crop nitrogen status for comparisons of agronomic practices and genotypes. **Field Crops Research**, v. 164, p. 54–64, 2014.

SALETTE, J.; LEMAIRE, G. Sur la variation de la teneur en azote des graminées fourragères pendant leur croissance: formulation d'une loi de dilution. **Comptes rendus de l'Académie des Sciences**, v. 292, p. 875–878, 1981.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Setor em Manejo do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SANTOS, H. Q. **Sistema para cálculo do balanço de nutrientes e recomendação de calagem e adubação de pastagens para bovinos de corte**. 142 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Setor de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2003.

SARTOR, L. R. et al. Assessment of the nutritional status of grassland: nitrogen nutrition index. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, 2014.

SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S. C. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 1, p. 35–47, 2008.

SCHMIEMAN, E. C.; VAN IERLAND, E. C. Dynamics of soil acidification: an economic analysis. **Ecological Economics**, v. 31, n. 3, p. 449–462, 1999.

SILVEIRA, M. L.; HABY, V. A.; LEONARD, A. T. Response of coastal bermudagrass yield and nutrient uptake efficiency to nitrogen sources. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 3, p. 707–714, 2007.

SOUSSANA, J.-F.; LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 9–17, 2014.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. Nutrição mineral da soja. In: Arantes, N. E.; Souza, P. I. M. (Eds.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo (POTAFOS), p. 105-135, 1993.

TERNOSKI, S.; PERONDI, M. Â. As estratégias de diversificação dos meios de vida e a formação da renda: uma análise empírica sobre os estabelecimentos agrícolas familiares cooperados da Cresol Prudentópolis. **Revista Teoria e Evidência Econômica**, v. 20, n. 43, 2014.

VIGNEAU, N. et al. Potential of field hyperspectral imaging as a non destructive method to assess leaf nitrogen content in Wheat. **Field Crops Research**, v. 122, n. 1, p. 25–31, 2011.

VON LINSINGEN PIAZZETTA, H. et al. Pastejo e nitrogênio sobre o crescimento de raízes na mistura de aveia preta e azevém. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, 2014.

WESP, C. de L. et al. Steers production in integrated crop-livestock systems: pasture management under different sward heights. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 187–194, 2016.

WHITEHEAD, D. C. **Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships**. Wallingford, Oxon, UK: CABI Pub., p. 1–14, 2000.

WILKINS, P. W.; ALLEN, D. K.; MYTTON, L. R. Differences in the nitrogen use efficiency of perennial ryegrass varieties under simulated rotational grazing and their effects on nitrogen recovery and herbage nitrogen content. **Grass and Forage Science**, v. 55, n. 1, p. 69–76, 2000.

WILM, H. G.; COSTELLO, D. F.; KLIPPLE, G. E. Estimating Forage Yield by the Double-Sampling Method 1. **Agronomy Journal**, v. 36, n. 3, p. 194–203, 1944.

WRIGHT, I. A. et al. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 5, p. 1010–1015, 2012.

ZHAO, B. Determining of a critical dilution curve for plant nitrogen concentration in winter barley. **Field Crops Research**, v. 160, p. 64–72, 2014.

5 CAPÍTULO II

Sistema integrado de produção agropecuária tem a capacidade de usar níveis decrescentes de insumos nitrogenados e ser mais eficiente no uso de nitrogênio?

Sistema integrado de produção agropecuária tem aptidão para usar níveis decrescentes de insumos nitrogenados e ser mais eficiente no uso de nitrogênio?

RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar a eficiência de absorção de N (EAN), eficiência de utilização de N (EUtN) e a eficiência de uso de N (EUN) no estabelecimento da fase pastagem, e compreender a capacidade do sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) em aprimorar as eficiências com níveis decrescentes de insumos. O experimento foi conduzido na Fazenda do Espinilho, localizada no município de São Miguel das Missões, região fisiográfica do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, Brasil, em delineamento de blocos completos ao acaso com três repetições para cada tratamento de dose de nitrogênio (74, 90, 113, 80 e 80 kg N ha⁻¹) e com duas repetições para área sem pastejo (SP), e foi conduzido durante cinco anos consecutivos (Ano I – 2014, Ano II – 2015; Ano III – 2016; Ano IV – 2017 e Ano V – 2018) durante a fase pastagem. Para a EAN, a maior média foi observada nas plantas que receberam a dose de 80 kg de N ha⁻¹ (1,08) no ano V, sendo 19,4 e 37,0% superior as doses 74 e 113 kg de N ha⁻¹ (anos I e III) e 90 e 80 kg de N ha⁻¹ (anos II e IV), respectivamente. Em relação a EUtN, os maiores valores foram observados nas doses de 80 kg de N ha⁻¹ (média de 38,9 kg kg⁻¹; anos IV e V). A maior eficiência de uso do N foi observada no pasto que recebeu a última dose de 80 kg de N ha⁻¹ (44,8 kg kg⁻¹; ano V), sendo 42,6% superior as demais doses de N aplicadas. Portanto, em SIPA, doses com 80 kg N ha⁻¹ não foram suficientes em atender as demandas de N na fase inicial da pastagem, porém propiciaram maior eficiência de uso do N, indicando que além do N da adubação o sistema contribui com reciclagem de nutrientes, tornando ecossistemas mais resilientes e ambientalmente mais eficazes.

Palavras-chave: Manejo do pasto, estabelecimento fase pastagem, intensificação sustentável

Integrated crop-livestock system has the capacity to use decreasing levels of nitrogenous inputs and be more efficient in the use of nitrogen?

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the nitrogen uptake efficiency (NUpE), nitrogen utilization efficiency (NUE) and nitrogen use efficiency (NUE) in the pasture stage establishment, and to understand the capacity of the integrated crop-livestock system (ICLS) to improve efficiencies with decreasing levels of inputs. The experiment was conducted at Fazenda Espinilho, located in the municipality of São Miguel das Missões, physiographic region of the Middle Plateau of Rio Grande do Sul, Brazil, in a randomized complete block design with three replicates for each treatment of nitrogen dose (74 , 90, 113, 80 and 80 kg N ha⁻¹) and with two replications were applied to the area no-grazing (NG), and it was conducted during five consecutive years (Year I - 2014, Year II - 2015; IV - 2017 and Year V - 2018) during the pasture phase. For the NUpE, the highest average was observed in the plants that received the dose of 80 kg of N ha⁻¹ (1.08) in year V, being 19.4 and 37.0% higher than the doses 74 and 113 kg of N ha⁻¹ (years I and III) and 90 and 80 kg of N ha⁻¹ (years II and IV), respectively. In relation to NUE, the highest values were observed in the doses of 80 kg of N ha⁻¹ (mean of 38.9 kg kg⁻¹, years IV and V). The highest nitrogen use efficiency was observed in the pasture that received the last dose of 80 kg of N ha⁻¹ (44.8 kg kg⁻¹; year V), 42.6% higher than the other N doses applied. Therefore, in ICLS, doses with 80 kg N ha⁻¹ were not sufficient to meet the demands of N in the initial stage of the pasture, but provided a greater efficiency of use of N, indicating that besides N of fertilization the system contributes with recycling of nutrients, making ecosystems more resilient and environmentally more effective.

Key words: Pasture management, pasture stage establishment, sustainable intensification

5.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas puramente agrícolas exigem grandes quantidades de insumos para a obtenção de altas produtividades criando um conflito entre os modelos de produção de alimentos com a sustentabilidade e a segurança alimentar (FAO, 2012). Assim, em diversos lugares, o uso intenso de insumos leva a perdas econômicas e ambientais (SCHMIDEMAN; VAN IERLAND, 1999; GUO et al., 2010). Desta forma, a pesquisa por sistemas sustentáveis de produção de alimentos que otimize o uso de insumos deve ser prioritária na maximização da produção a curto e longo prazo, e os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) vêm sendo considerados como uma alternativa eficiente do ponto de vista econômico e ambiental (BONAUDO et al., 2014; LEMAIRE et al., 2014). Para Moraes et al. (2002), um sistema integrado consolidado apresenta diversas vantagens, dentre elas, a manutenção dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, o controle da erosão, a maior eficiência do uso dos recursos naturais e o controle da poluição.

A maior eficiência de utilização dos nutrientes aplicados no sistema é um dos principais objetivos dos SIPA, o que reduz a dependência de insumos externos e, conseqüentemente, as flutuações de mercado, levando à um sistema com maior auto-suficiência (FRANZLUEBBERS, 2007; GARRETT et al., 2017). Para um aproveitamento ainda maior desses insumos externo que ainda entra no sistema devem ser aplicados na fase pastagem, pois serão utilizados para produção vegetal e animal no período hibernar, com pequena exportação de nutrientes via tecido animal, e em grande parte, retornam ao sistema via decomposição dos resíduos vegetal e animal sendo utilizados pela cultura sucessora (lavoura).

Nesse sentido, a ciclagem de nutrientes é apresentada como o processo fundamental a caracterizar os sistemas integrados (ANGHINONI et al., 2013), o que é reconhecido pelo meio científico por reportar a eficiência de tais sistemas na ciclagem de nutrientes e energia (ENTZ et al., 2005) e na sua sustentabilidade e resiliência (LEMAIRE et al., 2014). Nessa condição, a oferta de nutrientes é constante, uma vez que existem diferentes fontes em decomposição (resíduos de plantas e dejetos animais), sendo os nutrientes liberados de forma diferente entre as fontes.

Dentre os nutrientes mais liberados, o N é requerido em maiores quantidades pelas plantas e sua exigência é mais alta nos estádios iniciais de

crescimento e sua demanda pela cultura pode ser atendida pela ciclagem de nutrientes do sistema e pelas entradas e/ou a adição de nutrientes pela adubação. Segundo Costa et al. (2001), uma adubação nitrogenada estrategicamente recomendada com o avanço da eficiência do manejo do N é dependente de uma precisa avaliação do status do N em sistemas solo-planta-animal.

Outro fator agregado ao melhor aproveitamento dos nutrientes é o manejo adequado da altura do pasto, pois é importante para obtenção de alto rendimento e qualidade forrageira, bem como melhoria da qualidade do solo e redução de compactação imposta pelo pisoteio (BALBINOT JR. et al., 2009), quando manejados corretamente. Em intensidade moderada de pastejo, os herbívoros favorecem a ciclagem de N e ganho em produtividade, levando ao sequestro de C no solo, porém tende a diminuir em altas intensidades e sem pastejo.

Na região do Sul do Brasil, bem como na em toda a região Sul do Brasil, até o presente momento, são poucos os estudos do efeito do manejo do pasto sobre o estado nutricional do N no estabelecimento e crescimento da pastagem, após a cultura de verão e, se a ciclagem de nutrientes influencia a eficiência de uso do N com doses decrescentes de insumo nitrogenado em SIPA consolidados em plantio direto. Portanto, a pesquisa tem como objetivo geral avaliar o estado nutricional da pastagem e determinar a eficiência de uso de nitrogênio e a melhor estratégia de adubação em sistema integrado de produção agropecuária, sob plantio direto de longa duração.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Local, clima e histórico experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda do Espinilho, localizada no município de São Miguel das Missões, região fisiográfica do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, Brasil (latitude 28° 56' 14.00" S, longitude 54° 20' 45.61" O e altitude de 465 m). Este trabalho é parte de um protocolo experimental de longo prazo com SIPA em semeadura direta iniciado em 2001. O clima da região apresenta verão quente e úmido, sendo descrito como Cfa de acordo com Köppen (KOTTEK et al., 2006), com temperatura média anual de 19°C e precipitação média anual de 1850 mm (INMET, 2018). As condições meteorológicas foram obtidas na Estação

Meteorológica de São Luiz Gonzaga, estação situada mais próxima a área experimental (Figura 5).

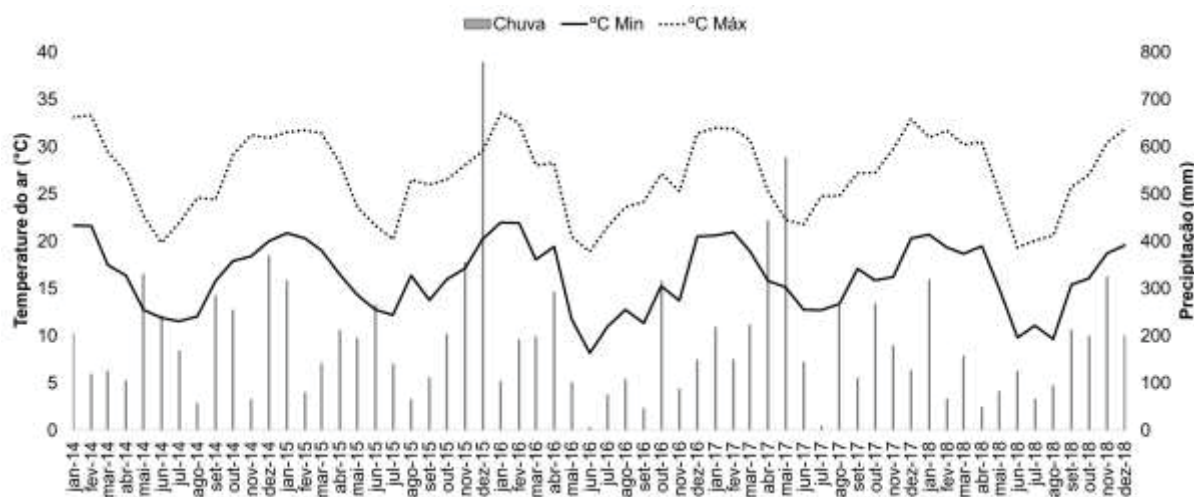


Figura 5 - Médias de temperatura do ar máxima (°Cmax), mínima (°Cmin) e precipitação, realizadas durante o período experimental de 2014 a 2018.

O modelo experimental é um Sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) que alterna as culturas de soja e pastagem sob semeadura direta. Durante o verão, as parcelas são semeadas com soja (*Glycine max* (L.) Merr.), e no inverno com pastos mistos de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.). A partir de 2017, a semeadura foi realizada apenas com o azevém anual. Desde 2001, para avaliar o efeito do componente animal no contexto SIPA como hipótese inicial, tem-se avaliado o efeito de diferentes alturas de manejo do pasto (10, 20, 30 e 40 cm) além de uma área sem pastejo (SP) usada como controle. A área total do experimento é de aproximadamente 22 hectares, a qual foi dividida em 12 parcelas, cujos tamanhos variam de 1,0 a 3,6 hectares (para as diferentes alturas de manejo do pasto) e as áreas de referência SP perfazendo 0,2 hectares.

As alturas de manejo do pasto são monitoradas periodicamente fazendo-se leituras no pasto em 100 pontos aleatórios com o uso do bastão graduado “sward stick”, conforme a técnica de Barthram (1981), no intuito de mantê-las o mais próximas possíveis das metas de manejo pré-estabelecidas.

O método de pastoreio contínuo foi utilizado com carga animal variável. A carga variável ajustada foi com base na metodologia proposta por Mott e Lucas

(1952) (método “*put and take*”) durante as fases experimentais de pastejo. A carga animal, em cada unidade experimental, era composta por número mínimo de três novilhos de corte (“tester”) e número variável de novilhos de corte reguladores, no intuito de manter a altura do pasto próxima da meta pré-estabelecida.

Foram selecionados novilhos castrados cruzados (raças Angus, Hereford e Nelore) com idade média de 12 meses e peso médio inicial de $218,65 \pm 29$ kg PV. Os animais iniciaram o pastejo em 09/06/2014, 09/06/2015, 26/07/2016, 28/06/2017 e 20/07/2018 e foram retirados em 01/11/2014, 30/10/2015, 03/11/2016, 19/10/2017 e 06/11/2018 totalizando 145, 143, 100, 112 e 109 dias de pastejo, respectivamente.

Os dados apresentados neste capítulo foram avaliados durante o estabelecimento da pastagem e dentro do primeiro ciclo de pastejo quando iniciou a alocação dos animais no experimento, nos anos de 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018 (Figura 6).

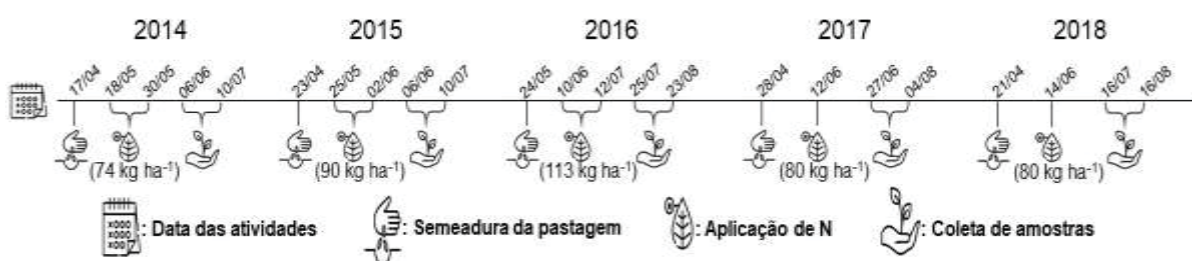


Figura 6 - Linha do tempo das atividades realizadas durante a fase pastagem nos cinco anos avaliados

5.2.2 Características do solo

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (CLAESSEN et al., 1997), com teores de argila, silte e areia de 540, 270 e 190 g kg⁻¹, respectivamente. A coleta de solo na camada de 0-10 cm foi realizada em dezembro de 2015; a qual apresentou como propriedades químicas pH-H₂O = 4,57, P-Mehlich 1 = 5,65 mg dm⁻³, K-Mehlich 1 = 148 mg dm⁻³, Al⁺³ trocável (KCl 1mol L⁻¹) = 1,4 cmolc dm⁻³ e concentração de matéria orgânica do solo = 38 g kg⁻¹.

5.2.3 Tratamentos experimentais

Com o intuito de avaliar o índice de nutrição nitrogenada (INN) do pasto no contexto de um sistema de produção integrado que alterna cultivos de soja e pastagem de inverno gerou-se uma escala decrescente de aportes anuais de N. Os tratamentos foram representados por doses de nitrogênio de 74; 90; 113; 80 e 80 kg de N ha⁻¹ para os anos I, II, III, IV e V, respectivamente. As doses foram parceladas em duas aplicações de igual quantidade após a semeadura das gramíneas nos anos I, II e III. Nos anos IV e V foram aplicadas em uma única dose (Figura 6). Em todos os anos a fonte de N foi a uréia (45% de N).

5.2.4 Adubações complementares e semeadura

Adubação complementar de fósforo e potássio foram constituídas por 116 kg ha⁻¹ de MAP (11% N + 52% P₂O₅) + 150 kg ha⁻¹ KCl (juntamente com a semeadura do pasto), 135 kg ha⁻¹ de MAP (meados de julho) + 150 kg ha⁻¹ KCl (meados de junho), 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅ + 100 kg ha⁻¹ K₂O (logo após a semeadura do pasto) e 8 toneladas da formulação 2-23-23 de N-P-K (no mês de maio, com 38 kg ha⁻¹ de N, 85 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 85 kg ha⁻¹ K₂O), respectivamente para os anos 2014, 2016, 2017 e 2018. Em 2015 não foi realizada qualquer adubação fosfatada ou potássica.

Em 2014, 2015 e 2016 foram semeadas 60 kg ha⁻¹ de aveia-preta e 35 kg ha⁻¹ de azevém anual. Já em 2017 e 2018 foram semeadas 35 kg ha⁻¹ de azevém anual. A utilização da quantidade de azevém semeada foi no intuito de uniformizar a área experimental.

5.2.5 Amostragens

Foram avaliadas duas coletas de massa de forragem (MF), expressada em kg de MS ha⁻¹. A primeira coleta foi realizada poucos dias antes dos animais serem alocados nas pastagens experimentais (Figura 6). A MF foi colhida procedendo-se cinco cortes próximos ao solo por unidade experimental (UE), em área delimitada por moldura metálica de 50 × 50 cm (0,25 m²) em locais aleatórios que representassem a altura média da UE. A segunda coleta foi realizada no momento

em que os animais já se encontravam em pastejo, coletando três amostras dentro das gaiolas de exclusão ao pastejo, por UE (Figura 6).

5.2.6 Análises laboratoriais

Para análise da concentração de nitrogênio na planta (CNP, g de N kg de MS⁻¹), que demonstra o *status* de N do pasto, foram utilizadas as amostras de MF das duas coletas de todos os anos em estudo. Essas amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante. Posteriormente, foram pesadas para avaliação da MS e moídas em moinho tipo Willey. Em seguida, foram novamente moídas no “moinho de bolas” (TissueLyser II) para se obter uma granulometria mais homogênea da amostra de tecido, e armazenadas em tubos de Eppendorf de 2,0 ml. Em seguida, foram pesadas em torno de 0,0005g em balança analítica (precisão 0,00001g) de cada amostra para a determinação da CNP e teor de C, por combustão seca em aparelho analisador elementar FLASH 2000 HT.

A percentagem de nitrogênio crítico (%Ncr) foi determinada de acordo com o modelo proposto por Lemaire, Jeuffroy e Gastal (2008), para espécies de gramíneas com rota metabólica C3 ($\%Ncr = 4,8 (MS)^{-0,32}$), e foi utilizada para estimar a curva de diluição do N em função da MF a partir de 1,0 t ha⁻¹. O INN foi obtido pela razão Na e %Ncr, onde Na é a CNP, expressa em percentagem de N em relação a MF, e %Ncr é a percentagem de N predita pela curva crítica para biomassa idêntica (DURU; DUCROQ, 1996).

Segundo Lemaire, Jeuffroy e Gastal (2008), valores de INN próximos a 1,0 indicam que não há limitação de nitrogênio; valores > 1,0 são considerados excedentes, ou seja, caracterizam a ocorrência de consumo de “luxo” de N pela planta, e, estando bem nutrida, armazena e acumula nos tecidos o N não utilizado para o desenvolvimento e produção de MS e valores < 1,0 indicam deficiência de N. A intensidade da deficiência pode ser estimada pelo valor de INN: valor de 0,5 indica que o nitrogênio disponível na planta representa 50% do nível crítico para cultura.

A absorção de N (Nabsorv) na parte aérea das plantas (kg ha⁻¹) foi determinada pela multiplicação do rendimento de MS pela CNP (g de N kg de MS⁻¹).

Os cálculos dos parâmetros de eficiência de N estão de acordo com as terminologias propostas nos trabalhos de Moll, Kamprath e Jackson (1982) e Liang et al. (2014), descritas abaixo:

Eficiência de absorção de N (EAN) = Absorção de N (kg ha^{-1}) / N da adubação

Eficiência de utilização de N (EUtN) = Rendimento de MS (kg ha^{-1}) / absorção de N (kg ha^{-1})

Eficiência de uso de N = Eficiência de absorção de N x Eficiência de utilização de N

5.2.7 Análise estatística

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Análises de covariância foram realizadas utilizando as alturas de manejo do pasto como covariável. A análise estatística foi realizada com auxílio do programa estatístico SAS versão 9.4. Os dados foram submetidos à análise de covariância (ANCOVA) por meio do PROC GLM, testando as doses como tratamento e utilizando as diferentes alturas de manejo do pasto como covariável. Quando detectadas diferenças significativas entre tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.3 RESULTADOS

A maior massa de forragem (MF; Tabela 2) entre as doses de N foi observada para a segunda dose de $80 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (ano V), sendo 14,3% superior a dose de $113 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (ano III) e 42,9% superior as demais doses (anos I, II e IV).

Foram observadas diferenças entre as doses de N para CNP (Tabela 2). A maior CNP foi observada na dose de $113 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ($3,75 \text{ g N por kg MS}^{-1}$; ano III). A menor CNP ($2,59 \text{ g N por kg MS}^{-1}$) foi observada no pasto que recebeu a última dose de $80 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (ano V).

Tabela 2 - Efeito de doses de N em pastos mistos de aveia e azevém em sistema integrado de produção agropecuária

Variáveis	MF⁽¹⁾	CNP⁽²⁾	Nabsorv⁽³⁾	INN⁽⁴⁾	EAN⁽⁵⁾	EUN⁽⁶⁾	EUN⁽⁷⁾
	kg MS ha ⁻¹	g N por kg MS ⁻¹	kg de N ha ⁻¹		-----	kg kg ⁻¹ -----	
Tratamentos							
74 kg N ha⁻¹ (Ano I)	2030,9c	3,17bc	62,2c	0,81b	0,84b	32,4b	27,4b
90 kg N ha⁻¹ (Ano II)	1999,7c	3,28b	59,7c	0,81b	0,66c	32,8b	22,2b
113 kg N ha⁻¹ (Ano III)	3068,4b	3,75a	102,4a	1,05a	0,91b	28,5c	27,1b
80 kg N ha⁻¹ (Ano IV)	2095,2c	2,93c	55,9c	0,74c	0,70c	37,2a	26,2b
80 kg N ha⁻¹ (Ano V)	3579,4a	2,59d	86,2b	0,78bc	1,08a	40,5a	44,8a
Pr > F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

⁽¹⁾Massa de forragem, kg MS ha⁻¹; ⁽²⁾Concentração de nitrogênio na planta, g N por kg MS⁻¹; ⁽³⁾N absorvido pela planta, kg de N ha⁻¹; ⁽⁴⁾Índice de nutrição nitrogenada, absoluto; ⁽⁵⁾Eficiência de absorção do N, kg kg⁻¹; ⁽⁶⁾Eficiência de utilização do N, kg kg⁻¹ e ⁽⁷⁾Eficiência de uso do N, kg kg⁻¹. Médias seguidas pelas letras minúsculas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

A dose de 113 kg de N ha⁻¹ proporcionou a melhor absorção de N pela biomassa aérea das plantas (102,4 kg de N ha⁻¹) em comparação aos demais tratamentos (Tabela 2), sendo 15,8% superior a dose de 80 kg de N ha⁻¹ (Ano V) e 42,1% superior as doses 74, 90 e 80 kg de N ha⁻¹ (anos I, II e IV), respectivamente.

O maior INN foi observado na dose de 113 kg de N ha⁻¹ (1,05), 29,5% superior ao menor INN observado na dose de 80 kg de N ha⁻¹ (ano IV).

A maior eficiência de absorção foi observada nas plantas que receberam a dose de 80 kg de N ha⁻¹ (1,08) no ano V, sendo 19,4 e 37,0% superior as doses 74 e 113 kg de N ha⁻¹ (anos I e III) e 90 e 80 kg de N ha⁻¹ (anos II e IV), respectivamente.

Em relação a eficiência de utilização das plantas forrageiras, os maiores valores foram observados nas doses de 80 kg de N ha⁻¹ (média de 38,9 kg kg⁻¹; anos IV e V), ou seja, mais eficientes na utilização do N oriundo da adubação ($P < 0,05$). Em contrapartida, o pasto que recebeu a maior taxa de adubação (113 kg de N ha⁻¹) foi menos eficiente em utilizar o N (28,5 kg kg⁻¹). A maior eficiência de uso do N foi

observada no pasto que recebeu a última dose de 80 kg de N ha⁻¹ (44,8 kg kg⁻¹; ano V), sendo 42,6% superior as demais doses de N aplicadas.

Foram observadas diferenças para todas as variáveis quando as alturas de manejo foram consideradas (Tabela 3). A área sem pastejo (SP) apresentou o maior valor de MF (3315,7 kg MS ha⁻¹; P<0,05), não diferindo do tratamento de 40 cm (2796,2 kg MS ha⁻¹), esse por sua vez não diferiu dos demais tratamentos (2474,3 kg MS ha⁻¹).

Tabela 3 - Efeito das alturas de manejo em pastos mistos de aveia e azevém em sistema integrado de produção agropecuária

Variáveis	MF⁽¹⁾	CNP⁽²⁾	Nabsorv⁽³⁾	INN⁽⁴⁾	EAN⁽⁵⁾	EUtN⁽⁶⁾	EUN⁽⁷⁾
	kg MS ha ⁻¹	g de N kg de MS ⁻¹	kg de N ha ⁻¹		-----	kg kg ⁻¹ -----	
Tratamentos							
10 cm	2246,4b	3,32a	70,2b	0,86	0,79b	32,5b	26,0b
20 cm	2526,1b	3,14ab	73,2b	0,84	0,83b	33,9ab	28,9b
30 cm	2650,4b	3,19ab	76,6ab	0,86	0,87ab	33,6b	30,6b
40 cm	2796,2ab	3,12ab	78,4ab	0,85	0,89ab	34,7ab	32,2ab
Sem Pastejo	3315,7a	2,85b	86,8a	0,83	0,99a	37,7a	38,1a
Pr > F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0205	<0,0001	<0,0001	<0,0001

⁽¹⁾Massa de forragem, kg MS ha⁻¹; ⁽²⁾Concentração de nitrogênio na planta, g N por kg MS⁻¹; ⁽³⁾N absorvido pela planta, kg de N ha⁻¹; ⁽⁴⁾Índice de nutrição nitrogenada, absoluto; ⁽⁵⁾Eficiência de absorção do N, kg kg⁻¹; ⁽⁶⁾Eficiência de utilização do N, kg kg⁻¹ e ⁽⁷⁾Eficiência de uso do N, kg kg⁻¹. Médias seguidas pelas letras minúsculas na coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

A CNP também apresentou diferenças em função das alturas de manejo do pasto impostos e na área SP. O tratamento 10 cm apresentou um teor de N na planta de 3,32 g de N kg de MS⁻¹, enquanto que a área SP, apresentou média de 2,85 g de N kg de MS⁻¹, com diferença significativa entre eles (P<0,05). Para a quantidade de N absorvido pelo pasto, os resultados foram contrários da variável CNP, onde a absorção de N na área SP foi superior as demais alturas de manejo, porém sendo estatisticamente diferente (P<0,05) apenas das alturas de 10 e 20 cm.

O INN foi a única variável que não apresentou diferenças entre as alturas de manejo do pasto e da área SP, apresentando média geral de 0,85.

Em relação a EAN, o maior valor foi observado para a área SP (0,99 kg kg⁻¹), não diferindo das alturas de manejo de 30 e 40 cm (0,88 kg kg⁻¹), essas que por

sua vez não diferiram das alturas de manejo de 10 e 20 cm ($0,81 \text{ kg kg}^{-1}$). Para a EUtN, o maior valor foi observado na área SP ($37,7 \text{ kg kg}^{-1}$), não diferindo das alturas de manejo de 20 e 40 cm ($34,3 \text{ kg kg}^{-1}$), que por sua vez não diferiram das alturas de manejo do pasto de 10 e 30 cm ($33,0 \text{ kg kg}^{-1}$). A EUN, também foi maior para a área SP ($38,1 \text{ kg kg}^{-1}$), não diferindo da altura de manejo do pasto de 40 cm ($32,2 \text{ kg kg}^{-1}$).

A curva de diluição do nitrogênio que representa os teores de N na biomassa aérea em relação a MF expressa em kg MS ha^{-1} é apresentada na Figura 7.

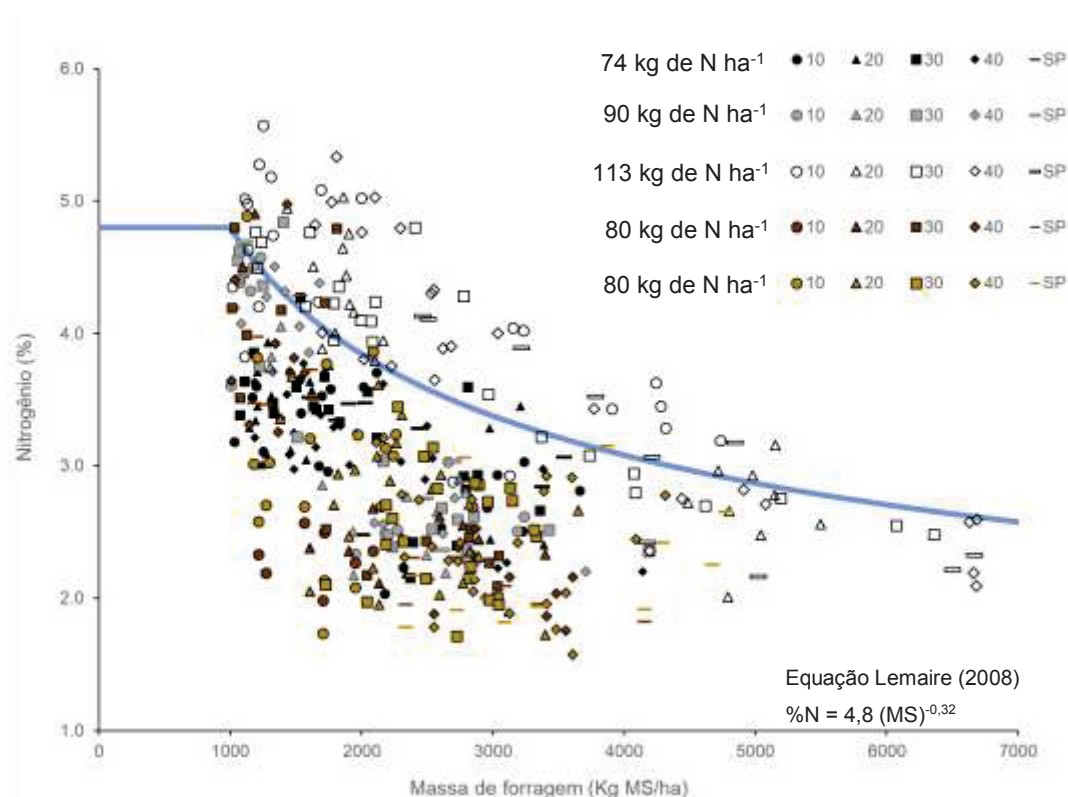


Figura 7 - Curva de diluição de nitrogênio proposta por Lemaire (2008), de acordo com a acumulação de biomassa do pasto em relação ao nível de nitrogênio em diferentes alturas de manejo do pasto e sem pastejo em cinco anos consecutivos

Pode ser observado que o N absorvido por unidade de biomassa diminui com o aumento da MS acumulada da pastagem, ocorrendo, portanto, o efeito de diluição do N na planta. Adicionalmente, a curva proporciona o estudo do comportamento do INN durante o desenvolvimento da cultura, realizado apenas no período em que a cultura atinge acúmulo de 1 t ha^{-1} de MS, por isso os pontos na figura têm início somente a partir desse valor. Quando os teores de N estiverem

sobre ou acima da curva de diluição (calculada especificamente para gramíneas C3, que foram utilizadas no experimento), a pastagem é considerada bem nutrida, logo observamos que para as doses em estudo, apenas a de 113 kg de N ha⁻¹ atingiu valores sobre a curva ou acima dela, as demais permaneceram na sua totalidade abaixo da curva, indicando inadequado fornecimento e absorção de N pela planta.

O resumo dos principais resultados do sistema relacionados a utilização do nitrogênio durante os anos avaliados é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Resumo dos resultados obtidos nos anos experimentais avaliados para as variáveis rendimento de soja, INN pastagem e eficiência uso do nitrogênio

<i>Variável</i>	<i>Resposta</i>
Rendimento soja 2013 (ton.ha⁻¹)	3,4 b (inferior)
INN pastagem 2014	0,81 b (abaixo do nível crítico)
Eficiência de uso ano 2014	27,4 b
Rendimento soja 2014 (ton.ha⁻¹)	3,7 b (inferior)
INN pastagem 2015	0,81 b (abaixo do nível crítico)
Eficiência de uso 2015	22,2 b
Rendimento soja 2015 (ton.ha⁻¹)	3,5 b (inferior)
INN pastagem 2016	1,05 a (adequado)
Eficiência de uso 2016	27,1 b
Rendimento soja 2016 (ton.ha⁻¹)	4,2 a (superior)
INN pastagem 2017	0,74 c (abaixo do nível crítico)
Eficiência de uso 2017	26,2 b
Rendimento soja 2017 (ton.ha⁻¹)	4,2 a (superior)
INN pastagem 2018	0,78 bc (abaixo do nível crítico)
Eficiência de uso 2018	44,8 a

Médias seguidas pelas letras minúsculas na coluna diferem pelo Teste Tukey ($\alpha = 0,05$).

Ao comparar os rendimentos de soja durante o período experimental avaliado, observou-se maior produtividade nas duas últimas doses (ambas 80 kg de N ha⁻¹) e a eficiência de uso do nitrogênio na última dose de 80 kg de N ha⁻¹ foi maior comparada as doses anteriores.

5.4 DISCUSSÃO

De acordo com os dados meteorológicos, não foram constatadas restrições para germinação, estabelecimento e desenvolvimento das pastagens, pois apresentaram boa disponibilidade de precipitação no período pré e pós semeadura e durante todo o ciclo de pastejo. As temperaturas enquadraram-se no exigido pelas gramíneas C3. Nesse sentido, os fatores abióticos como temperatura e água

disponível não restringiram o acúmulo de massa de forragem (MF) durante o período experimental (Tabela 2), por a mesma apresentar quantidades expressivas de acúmulo no período de estabelecimento da pastagem.

Dentro do modelo experimental que abrange cultivos agrícolas e produção animal na mesma área de forma concomitante e sequencial, todo o sinergismo proveniente das interações em escalas menores vai aumentando na escala temporal e o sistema vai se modificando, um exemplo é o estabelecimento da pastagem que, mesmo sem a presença física do animal no momento do primeiro corte, as alturas já estavam previamente estabelecidas. Isso pode ser explicado pela intensidade de pastejo e a memória do sistema com o acúmulo do efeito dos anos anteriores (CARVALHO et al., 2018).

Parsons e Chapman (2000) relatam que diversos trabalhos comprovaram a menor severidade e frequência de desfolha em perfilhos nas pastagens submetidas a baixa intensidade de pastejo. Portanto, a probabilidade de decapitação de perfilhos florescidos pelos animais diminui com esse sistema de manejo. Maior número de perfilhos florescidos podem beneficiar, nos anos posteriores, a ressemeadura natural do azevém, e esse efeito corrobora com os resultados de Barth Neto et al. (2014), que avaliaram a ressemeadura natural do azevém perene em sistemas integrados, e constataram que moderada intensidade de pastejo garante o estabelecimento bem sucedido da pastagem para o ano seguinte.

No momento da coleta das amostras, as maiores alturas foram observadas na área sem pastejo (SP) e no tratamento de 40 cm (41,7 e 38,4 cm, respectivamente, dados não mostrados). Com o objetivo de facilitar o manejo no momento em que os animais foram submetidos ao pastejo, durante todos os anos (desde 2001), os animais são designados às unidades experimentais quando todas as alturas atingem mínimo de 20 cm ou aproximadamente 1500 kg MS ha⁻¹. Ao considerarmos essa altura de entrada, a área SP e os tratamentos de 40 e 30 cm, que são superiores na MF inicial, são prejudicados, pois atingem em menor tempo altura e MF disponível para a entrada dos animais.

A percentagem de nitrogênio em relação a massa de forragem das plantas (CNP) encontradas neste estudo estão de acordo com estudos anteriores conduzidos com azevém anual e perene. Em geral, dependendo do fornecimento de N e condições ambientais, a CNP em *Lolium* spp. pode oscilar de 10 até 55 (MARINO et al., 2004; GISLUM; BOELT, 2009). As maiores CNP observadas

(Tabela 2) variaram conforme a quantidade de adubação nitrogenada, aumentando ou diminuindo na mesma intensidade de acordo com a quantidade de fertilizante aplicado ao sistema.

A CNP nos estádios vegetativos é alta e decresce com a idade da planta (MAMAN et al., 1999; GISLUM et al., 2005). Dentro do contexto SIPA, a CNP do pasto pode guiar todos os processos referentes à reciclagem de nitrogênio no sistema. Nesse sentido, é importante salientar que, além da contribuição direta do emprego de insumos nitrogenados, o nitrogênio proveniente do consumo animal que é dejetado na pastagem em forma de fezes e urina retorna em até 90% para o solo (HAYNES; WILLIAMS, 1993).

Portanto, o bom manejo em SIPA, com intensidades moderadas (20, 30 cm), por exemplo, proporciona uma pastagem de melhor qualidade durante o ciclo de pastejo, maiores quantidades de resíduo no final do ciclo e melhor distribuição das excretas pelos bovinos (SILVA et al., 2014), o que acarreta em maior velocidade de ciclagem dos nutrientes, devido aos menores teores de lignina, aumentando os teores e a qualidade da MOS, diferente do que ocorre em altas intensidades de pastejo (ASSMANN et al., 2015).

O crescimento vegetativo da planta pode ser dividido em dois compartimentos, um chamado metabólico que está associado com a fotossíntese, com elevada concentração de N; e um segundo, o estrutural que está associado com a construção da arquitetura espacial das plantas (LEMAIRE; GASTAL 1997).

No estabelecimento e no primeiro ciclo de pastejo, a pastagem encontra-se em pleno desenvolvimento vegetativo, caracterizado pelo rápido crescimento das plantas (fase metabólica), fato que explica a elevada CNP encontrada em todos os tratamentos.

Os maiores valores nos teores de N detectado nas maiores doses de N aplicado é resultado da influência direta do N nas características morfogênicas das plantas forrageiras atuando na zona de alongamento e de divisão celular, aumentando o número de células, favorecendo a taxa de expansão e o surgimento de folhas, o que, conseqüentemente, aumentou a participação de folhas da forrageira na massa de forragem, no ano com maior dose de N aplicado (GARCEZ NETO et al., 2002; PELLEGRINI et al., 2010).

Os resultados das médias referente a quantidade de N absorvido em relação a dose de N aplicado, foram de 62,2; 59,7; 102,4; 55,9; e 86,2 kg de N ha⁻¹,

respectivamente, para as doses de 74 (ano I), 90 (ano II), 113 (ano III), 80 (ano IV) e 80 (ano V) kg de N ha⁻¹ (Tabela 2). Portanto, as doses que apresentaram menor resposta à quantidade de N absorvido foram 80 (ano IV), 90 (ano II) e 74 kg de N ha⁻¹. Essas menores absorções pelas forrageiras estão relacionadas às doses inferiores de adubo nitrogenado, que contribuiu para menor absorção de N pelas raízes por parte da forrageira.

Lemaire et al. (1984a) observaram que a quantidade de N absorvida pelas plantas não é regulada apenas pela disponibilidade no solo, mas também pela taxa de crescimento e acúmulo de biomassa da cultura e o N absorvido por unidade de biomassa diminui com o aumento da MS acumulada da cultura, ocorrendo o efeito da diluição do N. Deste modo, podemos observar que o comportamento da MS acumulada e o teor de N na planta (Figura 7) estava de acordo com esses autores, ocorrendo um acréscimo da MS e redução exponencial no teor de N na planta.

De acordo com Assmann et al. (2014), para o mesmo experimento, detectou que o estoque de nitrogênio total no solo, para as alturas de manejo 20, 30, 40 e a área SP apresentaram em média 4,7 Mg ha⁻¹ de NT no solo, e na altura 10 cm houve um decréscimo de 0,90 Mg ha⁻¹. E Souza Filho et al. (2019), avaliando a emissão de gases dos animais, reportou perdas na ordem de 500g CO₂eq por animal dia para cada cm diminuído no manejo da altura da pastagem o que representa na altura de manejo de 10 cm, 6,6 toneladas de CO₂eq por hectare durante o período de pastejo por ano contabilizando a permanência dos animais até atingir o peso ao abate de 450 kg de peso vivo. Indicando, portanto, que o pastejo intenso (altura 10 cm), promove diminuição na qualidade do solo, com maior perda de C e N para a atmosfera, e intensificando a emissão de gases causadores do efeito estufa.

As curvas de diluição do N crítico diferenciam as situações em que o suprimento de N limita o acúmulo de massa na colheita (deficiência de N) e situações em que N é acumulado em excesso (N luxo). Essas curvas permitem a determinação do INN, que quantifica a intensidade de deficiência de N ou o consumo de luxo de N para uma determinada cultura (LEMAIRE; GASTAL, 2018).

Os resultados demonstraram que apenas para a dose de 113 kg de N ha⁻¹ alguns pontos ultrapassaram a curva de diluição, indicando que a planta está suprida, e nesses pontos acima da curva, podendo ocorrer consumo de 'luxo', além do necessário para o máximo crescimento, indicando que a dose pode ter sido em

excesso, ocasionando maiores perdas por lixiviação ou aumento na emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa.

A eficiência pela qual o N é usado pela planta de aveia e azevém é também afetada pelas EAN e EUtN. Nos dois primeiros tratamentos com dose de N (74 e 90 kg de N ha⁻¹), os resultados demonstraram que com o aumento da taxa de aplicação de N houve redução na EAN, EUtN e consequentemente a EUN, indo de encontro com outros autores (SILVEIRA; HABY; LEONARD, 2007; DAWSON; HUGGINS; JONES, 2008).

Na maior taxa de N aplicado (ano III), a EAN foi maior e a EUtN foi menor em relação ao ano anterior (ano II), corroborando com Van Ginkel et al., (2001) que, sob alto teor de N, a alta eficiência de absorção é uma característica desejável influenciando a EUN, enquanto que em sistemas de baixa utilização de insumos, o desenvolvimento de cultivares com alta eficiência de utilização é considerado mais desejável.

No último ano do período experimental (ano V), com dose nitrogenada de 80 kg de N ha⁻¹, as eficiências de absorção, utilização e de uso foram maiores comparada ao ano anterior (IV). Desse modo, outro aspecto importante verificado e que difere nos tratamentos é a quantidade de MS acumulada que, no ano IV, obteve uma menor quantidade de biomassa aérea e no ano V, as massas foram maiores.

Portanto, a EAN >1,0 mostra que o tratamento com dose de 80 kg de N ha⁻¹ (ano V), dois anos após o sistema atingir INN satisfatório, forçou o sistema a consumir o nitrogênio presente no solo diminuindo provavelmente seus estoques. Valor de eficiência acima de 1,0 indica que foi absorvido mais nitrogênio do que aplicado na adubação. Uma questão prática, é que, em SIPA, para favorecer a utilização de N, o produtor pode usar do artifício de atender a demanda de N do sistema e depois reduzir a dose aplicada no ano seguinte sem afetar tanto os estoques do solo e mantendo um nível de produtividade elevado do sistema (fase lavoura e pastagem).

Toda a dinâmica do crescimento dos pastos que se observa acima do solo também ocorre abaixo dele, no sentido de que o crescimento das raízes está diretamente relacionado com o crescimento da parte aérea (KUNRATH et al., 2015). Logo, maiores biomassas promovem o maior desenvolvimento radicular, provavelmente maximizando a absorção de água e nutrientes (PIAZZETTA et al., 2014), propiciando uma maior eficiência de absorção para as plantas que receberam

80 kg de N ha⁻¹ (ano V), e consequentemente, uma maior EUn, por conta das raízes atingiram profundidades maiores e capturar nutrientes que, de outra forma, não alcançariam.

Em relação a EUN, além do N proveniente da adubação, a soja (cultura antecessora), deixa uma quantidade de N residual através da decomposição da sua biomassa, em média, 46 kg ha⁻¹, que são liberados de forma gradual, porém de forma rápida para a pastagem (ASSMANN et al., 2015), agregando ainda mais N ao solo. Essa rápida liberação do N, principalmente das folhas da soja é atribuída à remoção da fração solúvel em água pela chuva e à facilidade de decomposição microbiana dessa fração, de baixa relação C:N, mesmo quando os resíduos culturais permanecem na superfície do solo (PADOVAN et al., 2006). Com essa quantidade de nutriente acumuladas da cultura antecessora, a adubação de SIPA pode ser diminuída substancialmente, o que acaba aumentando a eficiência de uso dos nutrientes e diminuindo custos ao sistema.

Portanto, o aporte adequado e contínuo de resíduos é importante para a sustentabilidade dos SIPA, pois contribuem para aportar o teor de carbono na fração particulada da matéria orgânica (C-MOP, MO lábil) ao solo que, posteriormente, vai aumentar o compartimento estável da MOS associada aos minerais. Incrementos no C-MOP garantem o fluxo positivo de C ao solo para manter ou aumentar a atividade biológica e a qualidade (SALTON et al., 2005), bem como afetando toda a ciclagem de nutrientes (ASSMANN et al., 2003).

Um aumento da MOS acarretará em benefícios para o sistema, tais como aumento da capacidade de retenção de água e aumento da CTC do solo, diminuindo as perdas de nutrientes (MACHMULLER et al., 2015). As interações entre o solo e a vegetação em sistema pastoris acoplam o C e N, reduzindo as perdas de N e promovendo o sequestro de C no solo (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014).

Outro fator que pode contribuir com uma maior eficiência da forrageira é a presença do animal no sistema, pois podem alterar a ciclagem de nutrientes do solo e a dinâmica de sua decomposição, que participam direta e indiretamente na ciclagem de nutrientes do ecossistema de pastagem. De forma indireta, pela ingestão da forragem, os animais estimulam o crescimento das plantas pastejadas e, assim, levam as plantas a absorver mais nutrientes do solo. De forma direta, o animal participa na reciclagem dos nutrientes por meio da excreção de esterco e urina (CANTARUTTI; NASCIMENTO JR.; COSTA, 2001). A deposição de dejetos e

urina pelos animais em pastejo exerce uma forte influência na concentração de nutrientes e nas comunidades microbianas e, como resultado, melhora a disponibilidade de N e a decomposição da matéria orgânica (MCNAUGHTON, 1985).

Em SIPA, principalmente sob plantio direto durante longo período, a oferta de nutrientes pode se tornar contínua, uma vez que existem fontes de diferentes composições em processo de decomposição (palhadas - cultura de verão e pastagem de inverno e dejetos - esterco e urina), liberando nutrientes de forma diferente entre elas. Alguns resultados de pesquisa sugerem que esses sistemas, quando bem manejados, são praticamente autossuficientes, exigindo baixas entradas de insumos (fertilizantes e corretivos), e a continuidade da produtividade parece ter condições de manter-se em equilíbrio por um longo tempo, antes que se indique a necessidade de maiores reposições de nutrientes (CORSI; MARTHA JR., 1997).

É importante avaliar que, em sistemas integrados onde a soja participa do arranjo produtivo, altas quantidades de N são absorvidas pela cultura para atender seus altos rendimentos (SINCLAIR; DE WIT, 1976; GILLER; CADISCH, 1995). Na média, para acúmulo de 1 tonelada de biomassa é necessário extrair do solo 79 kg N ha⁻¹ e 59 kg N ha⁻¹ são exportados via grãos (SALVAGIOTTI et al., 2008; TAMAGNO et al., 2017).

Ao aplicar essa razão e tomando como base os rendimentos de soja dos anos avaliados (Tabela 3) e rendimento superior nos dois últimos anos avaliados ($P < 0,05$), os valores exportados do solo seriam entre 201 - 248 kg N ha⁻¹. Esses resultados demonstram a importância do N resultante da fixação simbiótica e mineralização da matéria orgânica para suprir a demanda de N que não seria atingida apenas com a adubação nitrogenada.

Portanto, as doses iniciais de N aplicado (74 e 90 kg de N ha⁻¹) não foram suficientes para exprimir todo o potencial do sistema avaliando a fase soja/bovinos, com rendimentos inferiores nos anos agrícolas subsequentes e INN abaixo do nível crítico durante a fase de estabelecimento da pastagem. Adicionalmente, nesses anos a eficiência de uso do nitrogênio foi abaixo de 30kg de N para produzir 1 tonelada de forragem.

No ano de maior *input* de fertilizante (ano III), houve maior rendimento da fase lavoura no ano seguinte (ano IV) com uma das menores eficiências de uso do

N. Acredita-se que o maior *input* fez com que a fixação de N por meio da cultura de soja aumentasse o N disponível no solo no ano V, que influenciou no aumento da eficiência de utilização mesmo com o índice de nutrição da pastagem abaixo do nível crítico na fase de estabelecimento da pastagem.

Nesse sentido, o aumento na dose de N a 113 kg por hectare pode ter desencadeado um processo de aumento na produtividade de soja no ano seguinte (safra 2016, Tabela 3), e, considerando o conceito de adubação sistêmica, é o primeiro resultado em uma escala temporal que comprova a importância da adubação na fase pastagem para o aumento da lavoura subsequente através da ciclagem de nutrientes. O aumento do rendimento da soja no ano de 2016 pode ter aumentado a transferência de N da lavoura para a fase pastagem nos anos posteriores, aumentando a eficiência de uso do nitrogênio no ano V mesmo com doses decrescentes de adubação.

A adubação nitrogenada com dose de 113 kg de N ha⁻¹, no primeiro momento foi suficiente para atender as demandas de N da pastagem. Porém, com as reduções nos anos posteriores para 80 kg de N ha⁻¹, o índice nitrogenado ilustra que a dose não foi suficiente para atingir o melhor desenvolvimento da cultura, no entanto no ano V foram observadas as maiores eficiências de uso do N, mostrando que mesmo com menores taxas de adubação o sistema é capaz de se recuperar, principalmente pelos estoques de N no solo e pela ciclagem do sistema, que mantém os nutrientes de forma constante durante todo o ciclo.

Portanto, sistema integrado de produção agropecuária consolidado sob plantio direto de longa duração, juntamente com um manejo adequado dos agroecossistemas, pode contribuir para culturas mais eficientes para que haja então um sistema alimentar mais sustentável e resiliente.

5.5 CONCLUSÕES

Doses de N de 74 e 90 kg de N ha⁻¹ não foram suficientes para exprimir todo o potencial do sistema, apresentando INN abaixo do nível crítico durante a fase de estabelecimento da pastagem.

Em SIPA, doses de N de 80 kg ha⁻¹ não foram suficientes em atender as demandas de N na fase inicial da pastagem, porém a eficiência de uso do N foi maior, indicando que além do N da adubação o sistema contribui com reciclagem

dos nutrientes, tornando ecossistemas mais resilientes e ambientalmente mais eficazes.

5.6 REFERÊNCIAS

ACOSTA, J. A. de A. **Dinâmica do nitrogênio sob sistema plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada no milho**. 200 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Setor em Biodinâmica e Manejo do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; COSTA, S. de A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, p. 325–380, 2013.

ASSMANN, J. M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 52–59, 2014.

ASSMANN, J. M. et al. Carbon and nitrogen cycling in an integrated soybean–beef cattle production system under different grazing intensities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 10, p. 967–978, 2015.

ASSMANN, T. S. Rendimento de milho em área de integração lavoura–pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 675–683, 2003.

BALBINOT JR., A. A. et al. Crop–livestock system: intensified use of agricultural lands. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1925–1934, 2009.

BARTH NETO, A. et al. Italian ryegrass establishment by self-seeding in integrated crop–livestock systems: Effects of grazing management and crop rotation strategies. **European Journal of Agronomy**, v. 53, p. 67–73, 2014.

BARTHRAM, G.T. Sward structure and the depth of the grazed horizon. **Grass and Forage Science**, v. 36, n. 2, p. 130–131, 1981.

BONAUDO, T. et al. Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 43–51, 2014.

CANTARUTTI, R. B.; NASCIMENTO JR, D.; COSTA, O. V. Impacto animal sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. **A produção animal na visão dos brasileiros. Piracicaba: FEALQ**, p. 826–837, 2001.

CARVALHO, P. C. F. et al. **Integrating the pastoral component in agricultural systems**. Revista Brasileira de Zootecnia, p. 47:e20170001, 2018. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v47/1806-9290-rbz-rbz4720170001.pdf>>. Acesso em 02 dez. 2018.

CLAESSEN, M. E. C. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Docmentos (INFOTECA-E)**, 1997.

CORSI, M.; MARTHA JR., G. B. Manutenção da fertilidade do solo em sistemas intensivos de pastejo rotacionado. **Simpósio sobre manejo da pastagem**, v. 14, p. 161–192, 1997.

COSTA, C. et al. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of plant nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1173–1194, 2001.

DAWSON, J. C.; HUGGINS, D. R.; JONES, S. S. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. **Field Crops Research**, v. 107, n. 2, p. 89–101, 2008.

DE SOUZA FILHO, W. et al. Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 968–975, 2019.

DURU, M.; DUCROCQ, H. A nitrogen and phosphorus herbage nutrient index as a tool for assessing the effect of N and P supply on the dry matter yield of permanent pastures. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 47, n. 1, p. 59–69, 1996.

ENTZ, M. H. et al. Evolution of integrated crop-livestock production systems. In: Grassland a Global Resource. **XX International Grassland Congress**. Anais... Dublin, Ireland (Ed. da McGilloway), 2005.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **CA Adoption**

Worldwide, FAO AQUASTAT database. Roma, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>>. Acessado em: 11 jan 2019.

FRANZLUEBBERS, A. J. Integrated crop–livestock systems in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 361–372, 2007.

GARCEZ NETO, A. F. et al. Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 5, p. 1890–1900, 2002.

GARRETT, R. D. et al. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, v. 155, n. May, p. 136–146, 2017.

GILLER, K. E.; CADISCH, G. Future benefits from biological nitrogen fixation: na ecological approach to agriculture, In: **Management of Biological Nitrogen Fixation for the Development of More Productive and Sustainable Agricultural Systems**, Springer, Netherlands, pp. 255-277, 1995.

GISLUM, R. et al. Temporal variation in nitrogen concentration of above ground perennial ryegrass applied different nitrogen fertiliser rates. **Field crops research**, v. 91, n. 1, p. 83–90, 2005.

GISLUM, R.; BOELT, B. Validity of accessible critical nitrogen dilution curves in perennial ryegrass for seed production. **Field crops research**, v. 111, n. 1–2, p. 152–156, 2009.

GUO, J. H. et al. Significant acidification in major Chinese croplands. **science**, v. 327, n. 5968, p. 1008–1010, 2010.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. In: **Advances in agronomy**: Elsevier, v. 49, p. 119–199, 1993.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 01 dez. 2018.

KLINGMAN, D. L.; MILES, S. R.; MOTT, G. O. The cage method for determining consumption and yield of pasture herbage. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 35, p. 739–746, 1943.

KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

KUNRATH, T. R. et al. How much do sod-based rotations reduce nitrate leaching in a cereal cropping system? **Agricultural Water Management**, v. 150, p. 46–56, 2015.

LEMAIRE, G. et al. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I.--Etude de l'effet du milieu. **Agronomie**, v. 4, n. 5, p. 423–430, 1984. a.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Springer, p. 3–43, 1997.

LEMAIRE, G.; JEUFFROY, M.-H.; GASTAL, F. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. **European Journal of agronomy**, v. 28, n. 4, p. 614–624, 2008.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 4–8, 2014.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. Crop responses to nitrogen. **Encyclopedia of sustainability science and technology**, p. 1–27, 2018.

LIANG, Z. et al. Cultivar and N fertilizer rate affect yield and N use efficiency in irrigated durum wheat. **Crop Science**, v. 54, p. 1175–1183, 2014.

MACHMULLER, M. B. et al. Emerging land use practices rapidly increase soil organic matter. **Nature communications**, v. 6, n. 6995, 2015.

MAMAN, N. et al. Hybrid and nitrogen influence on pearl millet production in Nebraska: yield, growth, and nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 5, p. 737–743, 1999.

MARINO, M. A. et al. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter–spring growth of annual ryegrass. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 3, p. 601–607, 2004.

MCNAUGHTON, S. J. Ecology of a grazing ecosystem: the Serengeti. **Ecological monographs**, v. 55, n. 3, p. 259–294, 1985.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization 1. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 3, p. 562–564, 1982.

MORAES, A. De et al. Integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Encontro de integração lavoura-pecuária no sul do Brasil**, v. 1, p. 3–42, 2002.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS 1952, **Anais...** : Pennsylvania, 1952.

PADOVAN, M. P. et al. Decomposition and nutrient release from soybean cut at different growth stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 667–672, 2006.

PARSONS, A. J.; CHAPMAN, D. F. **The principles of pasture growth and utilization**. In **‘Grass: its production and utilization’**. (Ed. A Hopkins) pp. 31–89, Blackwell Science Ltd: Oxford, UK, 2000.

PELLEGRINI, L. G. et al. Produção de cordeiros em pastejo contínuo de azevém anual submetido à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1399–1404, 2010.

PIAZZETTA, H. V. L. et al. Pastejo e nitrogênio sobre o crescimento de raízes na mistura de aveia preta e azevém. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2749-2768, 2014.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Setor em Manejo do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SALVAGIOTTI, F. et al. Nitrogen uptake: fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. **Field Crops Research**, v.108, pp. 1-13, 2008.

SCHMIEMAN, E. C.; VAN IERLAND, E. C. Dynamics of soil acidification: an economic analysis. **Ecological Economics**, v. 31, n. 3, p. 449–462, 1999.

SINCLAIR, T. R.; DE WIT, C. T. Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield. **Agronomy Journal**, v. 68, p. 319–324, 1976.

SILVA, F. D. et al. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its relationships to soybean nutrition and yield in integrated crop–livestock systems under no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 84–91, 2014.

SILVEIRA, M. L.; HABY, V. A.; LEONARD, A. T. Response of coastal bermudagrass yield and nutrient uptake efficiency to nitrogen sources. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 3, p. 707–714, 2007.

SOUSSANA, J.-F.; LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 9–17, 2014.

TAMAGNO, S. et al. Nutrient partitioning and stoichiometry in soybean: a synthesis-analysis. **Field Crops Research**, v. 200, p. 18–27, 2017.

VAN GINKEL, et al. Methodology for selecting segregating populations for improved N-use efficiency in bread wheat. **Euphytica**, v. 119, p. 223–230, 2001.